

화력발전소운영에 대한 전문가시스템의 응용

정재길*·양원영**

(*중앙대 공대 전기공학과 교수, **동 조교수)

1. 서론

날로 증가하는 운전비용, 낡아빠진 발전시설, 그리고 격변하는 경제상황때문에, 전력회사들은 앞으로 더욱 많은 어려움에 봉착하게 될 것으로 예상된다. 이러한 현재의 어려움과 장래의 불확실성에 직면하여, 예상되는 수요증가에 대비한 계획을 세우는 한편, 경제목적표와 환경적목적표를 조화시키면서 균형을 맞추는 것이야말로 전력회사들에게 있어서 필수적 과제가 아닐 수 없을 것이다. 한편 많은 전력회사들은 새로운 발전소의 건설에 소요되는 막대한 재정적투자자와 사회환경적부담을 고려한 나머지, 새로운 발전소를 건설하기보다는 기존의 발전시설을 최대한으로 이용하여 값싸고도 충분한 전력을 공급함으로써, 필요한 전력수요를 충당해내려는 기본적인 방침을 선호하는 경향이 있으며, 이러한 경향의 연장선상에서 전반적인 플랜트의 성능을 개선하고 그 수명을 연장시키는 현대화방법을 모색하고 있다.

아직도 공급전력의 상당부분을 차지하고 있는 화력발전소는 대규모인데다가 아주 복잡한 시스템인데, 이러한 시스템을 다양한 상황변화에 따라 성능을 충분히 발휘하면서 또한 안전하게 운전하기 위해서는 고도의 운전기술이 요구된다. 현재 주야간 수요격차의 확대와 원자력공급비율의 증가등에 의해 화력발전소는 설비의 노후화가 날로 심해져가고 있고 연일 계속되는 기동정지 등 과도한 운용이 행해지고 있으며, 이러한 상황하에서 전력공급의 책무를

다할 수 있는 동시에 출력 조정능력, 안전도, 열관리 경제운전등에 관하여 더욱 성능을 향상시키는 것이 화력발전소의 운전을 담당하는 자의 올바른 사명이라고 할 수 있을 것이다.

이를 위해서는, 운전, 보수, 관리, 설비면에서 종합적인 대책이 필요하다. 운전면에서의 대책으로는 운전기술의 고도화가 중요하며, 이를 성취하는데 있어서는 발전소운영에 관한 지식의 질적, 양적확충과, 판단의 신속성 및 신뢰도의 향상, 그리고 숙련된 오퍼레이터의 기술의 전승등이 중요한 과제라고 보여지는 바, 기대되는 기술의 수준이 높아져 가고 있기 때문에 그러한 과제들을 해결하기 위해서는 교육훈련의 내실화, 운전수칙의 정비등 종래의 대응책에 덧붙여서 새로운 대응책이 요망되는 것이다.

지금까지 화력발전소는, 대응량, 고효율화와 함께 광범위한 자동화등 비약적인 기술의 진보가 진행되었으며, 앞으로도 출력조정능력의 改善, 低배기가스 燃 燒, 經濟性의 向上등의 면에서 나날이 발전을 계속할 것으로 예상되고 있다. 이러한 발전소의 기술 발전을 기반으로 해서 운전기술의 고급화가 불가결해졌으며, 오퍼레이터는 복잡해진 시스템구성 및 플랜트특성을 이해하고 지식의 고도화와 지식량의 확충 등 운전기술을 연마하는 데에 한층 노력을 경주하게 되었다. 특히 플랜트의 정상시의 운전은 기동부터 정지까지 광범위한 자동화가 진행중이지만, 異常의 발생防止, 異常時의 對應(異常의 조기발견, 확대방지, 원인구명, 긴급복구), 플랜트성능을 충분히

발휘할 수 있도록 하는 고효율 운전, 신속하고 정확한 출력조정, 低배기가스연소등을 위해서는 금후에도 꾸준히 운전기술의 수준을 향상시킬 필요가 있다.

그런데 최근 현저히 발전되어 가는 知識工學은, 인간의 고도의 지능적 판단을 지원하는 역할을 하는 전문가시스템의 구성을 가능케 하였으며, 따라서 발전소의 운전기술을 고도화하는 유력한 수단으로서, 기능적 유연성(flexibility)과 사용자 편의성이 풍부한 知能的運轉支援시스템을 개발함으로써, 平常時의 正常運轉 및 起動運轉뿐만 아니라 異常時의 運轉을 支援하는 일이 필요하면서도 가능하게 되었다.

2. 운전기술의 고도화를 위한 주요과제

2.1 지식의 확충

오퍼레이터가 신속하고 정확한 운전을 수행하기 위해서는 대상플랜트에 대해서 精通해야 한다. 금후 더욱 향상된 운전기술이 요청되기 때문에 오퍼레이터는 플랜트를 구성하는 기기의 仕様이나 동특성, 고장메카니즘, 연소관리등에 관한 전문적지식, 과거의 이상사례들로부터 얻어진 경험적 지식을 풍부하게 갖출 필요가 있다.

이에 대처하기 위해서는 발전설비의 보수, 설계등에 관해서 숙련된 오퍼레이터를 위시한 광범위한 전문가의 지식을 지식베이스에 축적한 운전시스템에 의해 오퍼레이터에게 수시로 필요한 정보를 제공하는 일이 유효할 것이라고 여겨진다.

2.2 판단의 신속성과 신뢰도의 향상

오퍼레이터는 플랜트의 특성을 종합적으로 파악하여, 이상의 조기발견, 신속한 이상원인의 구명, 적절한 대응조작과 운전계획의 임기응변적 수정 등 고도의 운전능력을 보유하고 있지만 다른 한편으로는 다단계의 연역적 추론을 수행하는 데 있어서는 상당한 시간이 걸리며, 어떤 중요한 정보를 간과하거나 착각함으로써 잘못된 판단하는 등 인간으로서 피하기 어려운 결점을 아울러 가지고 있다.

물론 팀웍(teamwork)에 의한 상호검사 보완과정을 통해서도 이러한 결점으로 인한 오조작의 가능성을

을 어느정도 감소시킬 수 있겠지만, 판단의 신속성과 신뢰도를 한층 향상시키기 위해서는 고도의 추론기능을 가진 운전지원시스템에 의해 가설의 생성이나 검증등을 수행함으로써 오퍼레이터의 적절하고 신속한 판단을 지원하는 것이 유효한 대책이라고 여겨진다.

2.3 기술의 전승

최근, 발전설비의 신뢰도향상과 보호, 제어장치의 성능향상에 따라, 숙련된 오퍼레이터의 육성에 없어서는 안될 사고 또는 이상상태에 대한 체험적학습의 기회가 날로 감소되어 가고 있으며, 그러한 경향은 앞으로도 계속될 것이기 때문에 직장내 교육훈련과 기능훈련센터에 의해 수행되는 수준이상의 대책이 필요할 것으로 보인다.

이러한 상황에서 다음세대의 화력발전플랜트를 담당하는 오퍼레이터를 육성하기 위해서는 숙련된 오퍼레이터가 오랜기간 쌓아온 귀중한 경험적지식을 수집정리 하여 후진에게 전해줄 수 있는 제도적장치와 아울러 그것을 실현할 수 있는 물리적 수단이 필요할 것이다.

이에 효과적으로 대처하기 위해선, 전문가의 경험적지식을 표현하는 수단과 기술을 갖추고, 추론과정에 대한 설명 및 질문기능에 의해 유연한 대화를 할 수 있는 운전지원시스템이 요망된다.

3. 기술현황 및 연구개발사례

최근에 이르러 미국의 전력연구소(EPRI : Electric Power Research Institute)나 Southern California Edison 사, Northern Indiana Public Service Co, Impell Corporation, 스위스의 ABB(Asea Brown Boveri)사, 대만의 타이완전력회사, 그리고 일본의 Chubu전력회사, 동경전력회사, 도시바사등에서는, 플랜트의 생산성, 가용성, 효율성, 신속성의 향상을 목표로 한 연구개발프로젝트를 단독 또는 공동으로 활발히 추진하기 시작하였는바, 그들 중 대부분은 많은 지식과 정보를 다루는 데 있어서 기존의 계산적 방법 보다는 기호적정보를 효율적으로 처리할 수 있는 인공지능기법, 특히 방대한 양의 자료로부터 축적된 지식을 이용하여 이용자에게 필요하고 의미

있는 정보를 전달해줄 수 있는 전문가 시스템을 채택하기로 방향을 정하였다.

발전소를 운영하는 업무에 있어서 전문가시스템을 적용할 만한 가치와 가능성을 발견할 수 있는 분야는, 가용한 지식과 정보를 이용해서 발전기의 성능을 향상시키려고 하는 방향과, 점점 심해져 가는 기계적문제를 초기에 발견해서 보다 심각한 문제나 중대한 사고가 일어나기 전에 미리 예방대책을 마련, 시행하는 것을 목표로 하는 장비진단분야가 있으며, 구체적으로는 다음과 같은 분야를 열거할 수 있다.

- 종합적 운전지원시스템
- 보일러관의 결합진단및 보수관리
- 발전기의 모니터링
- 터어빈의 모니터링
- 열효율의 개선
- 콘덴서 및 급수가열기의 유지, 보수 관리

각 분야에 적용할 수 있는 전문가시스템의 개발을 목표로 추진 중인 프로젝트들의 국제적인 동향과 추세를 살펴보면 다음과 같다.

3.1 종합적 운전지원시스템

일본의 동경전력회사에서는 화력발전소에 있어 전술한 바와 같은 문제점과 필요성에 대해 효과적으로 대처하기 위해서, 지식공학을 이용한 운전지원시스템의 실용화를 목표로 수년전부터 기초연구에 착수하여, (주)히다찌(日立)제작소, 미쓰비시(三菱)중공업(주), 미쓰비시(三菱)전기(주), 石川島播磨중공업(주), (주) 도시바(東芝)등과 함께 개별적으로 공동연구를 수행하였다. 이러한 기초연구는 화력발전소의 운전지원시스템을 구상한 후, 타당성조사를 위해 시스템의 중추부를 소규모의 프로토타입시스템으로 실현하여 평가시험을 행하였는데, 그결과 운전지원시스템의 실용성과 실현가능성을 확인함과 아울러 장래 본격적인 시스템의 개발을 추진하는 데 있어 유익한 성과를 얻었으며, 그후로도 알고리즘의 개발, 훈련용시뮬레이터및 실제시스템에 의한 실증시험과 실용화개발을 추진하는 연구가 계속되고 있다.

화력발전소의 업무에 있어서, 지원의 필요성이 높은 업무내용은 안전한 운전과 경제적운전일 것이다. 안전한 운전을 위해서는 이상의 조기발견과 원인구명, 동작예측, 대응조작 등 이상현상에 대한 대책의 마련 및 정확한 수행이 필요하며, 경제적 운전을 위

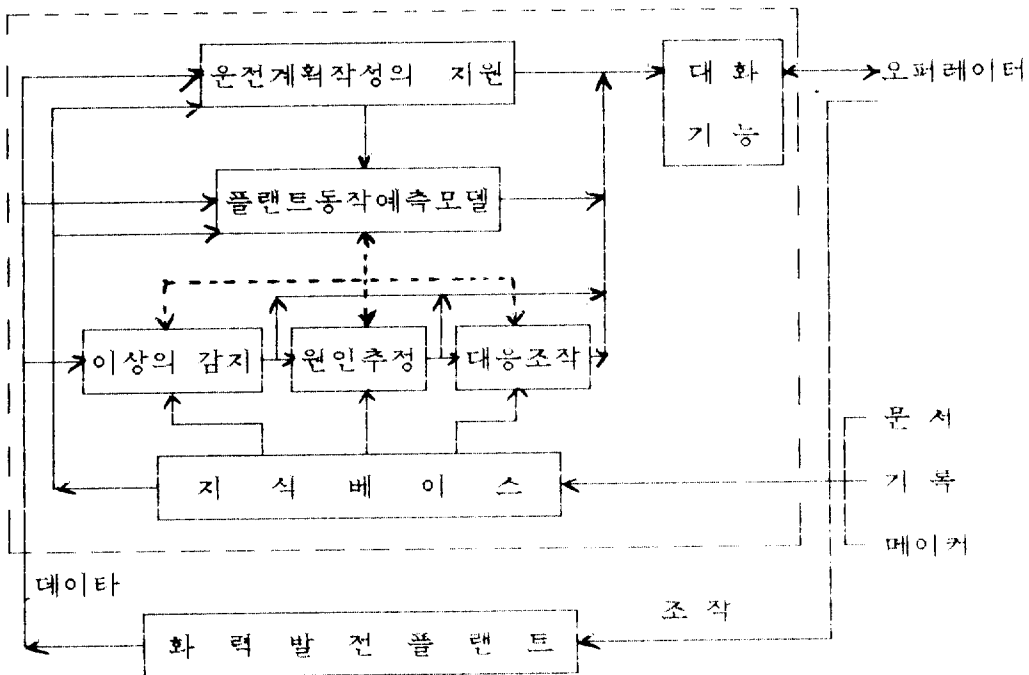


그림 1. 운전지원 시스템의 구상

해서는 신속하고 정확한 출력조정능력을 기반으로 다양한 상황에 대해 적응하며 최적기동 운전을 도모할 수 있는 운전계획의 구성과 원활한 수행이 요구되는바, 이러한 면들을 지원해줄 수 있는 시스템의 개발을 목표로 한다.

위 그림1은 바로 東京電力會社에서 시험제작한 운전지원시스템의 프로토타입에 대한 개요를 보여주고 있으며, 이러한 기능의 구성은 다음과 같은 특징을 갖는 시스템을 개발하는 것을 목표로 하고 있다.

1) 충실한 지식베이스

- Furnace pass metal temperature is high remarkably.
1. What is furnace pass out temperature in leftside in degC ? 367
 2. What is furnace pass out temperature in rightside in degC ? 379
 3. What is boiler load in percentage ? 32
 - ⋮
 13. What is the number of burner pairs of 1st stair from of burner ? 4

- Center of burner pattern is low remarkably.
To check and correct burner pattern is recommended.
14. What is main steam temperature in degC ? 535
 15. What is furnace pass water flow in T/H ? 550
 - ⋮
 35. What is GMF current in rightside in Amp. ? 82

There is difference between left and right side on local dampers remarkably, To check setting or actual opening on local dampers and readjust is recommended.

** That's all. **

The result of diagnosis is as follows.
Center of burner pattern is low with CF: 1.0
There is difference between left and right side on local dampers with CF: 0.5632

그림 2. 보일러 異常時運轉支援시스템의 진단실행예

숙련된 오퍼레이터는 대상플랜트제작자측의 전문가를 포함한 광범위한 지식원으로부터 전문적인 경험과 지식을 획득하여 저장한 지식베이스를 보유하도록 한다.

2) 플랜트동작예측모델

플랜트의 동작특성에 관한 전문가의 모든 지식을 퍼지모델이나 다른 물리적모델등에 의해 정성적으로 또는 정량적으로 표현한 모델을 이용하여 이상의 조기발견과 그 원인에 대한 가설의 검증, 이상현상의推移豫測, 대응조작, 운전계획의 시뮬레이션에 의한 사전평가를 행하도록 한다.

3) 인간과의 대화기능

운전지원시스템에 있어서는 오퍼레이터와의 원활한 인터페이스 기능이 관건이기 때문에, 오퍼레이터의 認知過程에 알맞는 정보교환이 가능한 대화기능을 이용하여 오퍼레이터 자신이 추론과정에 관한 이해도를 높이며 새로운 전문이나 지식을 추가할 수 있도록 한다.

위의 그림 2는 바로 그 중 일부인 보일러異常時運轉支援시스템의 진단실행예를 보여준다.

3.2 보일러관의 결함진단

화력발전소에 있어서, 보일러관의 결함은 가용성손실(availability loss)의 주요한 원인이 된다. 보일러관의 결함으로 인한 운전정지사태의 우려를 최소화하기 위해서는, 효과적인 예방 보수대책을 포함한 운전요령과 플랜트 설비조건을 결정할 수 있도록, 그러한 문제의 근본적인 원인을 철저히 구명하고 분석하여야 한다.

예 예를 들어서, ERRI에서 개발중인 보일러관의 결함진단시스템 ESCARTA의 구성단위와 기능은 다음과 같다.

1) 구성단위

- failure diagnosis module
- database on tube failures
- failure mechanism information module(보수및 검사요령과 근본적 원인분석)
- database on tube dimensions and specifications

2) 기능

여러가지 source로부터 얻어지는 자료및 정보를 근거로 하여 추론함으로써, 보일러관 결함의 원인을

밝혀내고, 그에 따라 알맞는 검사요령과 보수방법을 간단하고 이해하기 쉬운 형식으로 제시하여 준다. 이 시스템은, 발전소의 근무자가 아무리 초보자라 할지라도, 최소한 예비진단의 결과를 최근의 보수작업에 관한 자료와 함께 엔지니어링기술자나 야금술 전문가에게 체계적으로 전달함으로써, 결함이 발생했거나 또는 발생할 가능성이 있는 부분에 대한 보수계획을 세울 수 있고, 또한 그렇게 함으로써 초보자를 교육시킬 수 있는 부수적 기능도 갖고 있는 셈이다.

3.3 보일러의 유지보수

보일러의 가용성(availability)을 높이기 위해 미국의 전력연구소(EPRI)에서 추진중인 BMW(Boiler Maintenance Workstation)프로젝트의 개발사양은, Intel 80286 및 80386 기종의 마이크로컴퓨터로 구성된 워크스테이션(workstation)에서 가동되며, 보일러의 결함을 발견하고 관련된 문제점을 진단, 처방해 주는 ESCARTA의 version과, 보일러의 검사, 유지, 보수 및 수명평가작업을 위해 개발된 다른 소프트웨어를 포함함으로써, 보일러수관들의 벽두께를 보여준다거나 수관들의 검사, 보수, 교체기간을 예측하고, 가열기와 재열기의 수명을 어렵하며 보일러관들의 용접부분에 대한 잔여수명을 평가해주는 기능을 갖도록 되어 있다. 또한 BMW는 결함이 있는 부분의 영상을 보여주기 위해 35mm 슬라이드 프로젝트나 비디오텍스시스템과 연결함으로써, 단순한 교과서적예와는 다른, 현장별로 보유하고 있는 자세하고 생생한 영상자료들을 첨가하여 이용할 수 있도록 되어 있다. 그리고 이상적으로는, 발전소마다 설치되어 있는 워크스테이션들이 중앙의 엔지니어링센터에 연결됨으로써, 각 발전소로부터 새로운 정보가 들어올 때마다 데이터베이스모듈의 master version이 update되도록 하는 것을 목표로 하고 있다.

이 프로젝트의 실증시험(demonstration)과정에 참여하려는 전력회사들은, 약 6개월간의 사용기간 중에 BMW를 사용한 경험을 근거로 해서, 그 성능을 평가해주고, 개선하거나 첨가할만한 점에 대해 추천해주며, 아울러, BMW를 사용함으로써 얻어지는 이점을 이야기함으로써, 그 최종적인 작품에 완벽성을 가미해 줄것으로 기대되고 있다.

3.4 발전기의 모니터링

터어빈발전기의 신뢰도는 화력발전소의 운전과 그 신뢰도에 결정적인 영향을 미치므로, 발전기의 고장기간을 최소화하기 위해서는 그원인이 되는 기계적 문제를 초기에 발견, 진단하고, 그것이 중대한 사고를 유발하기 전에 적절한 대책을 마련, 시행하도록 하는 것이 필요할 것이다. 이러한 기능의 필요성을 일찌기 인식한 EPRI에서는, 센서들로부터 얻어진 발전기 진단자료를 종합해서, 현재 진행되고 있는 발전기문제를 운전자에게 제공하고, 아울러 적당한 대책에 관한 조언을 제시해 줄 수 있는 on-line generator monitoring system을 개발하고 있는 중이다. 이 계획은, 냉각수의 흐름, 발생전압 및 전류와 출력, 권선의 온도, 회전자와 베어링의 진동, 윤활유 및 여자상태등에 관하여 machine sensor가 측정 한 자료들을 데이터수집시스템을 통해 받아 들여서, 상태평가모듈(status evaluation module)에 의해 문제가 있다면 그 현상을 파악한 후, 추론기관에서 그 지식베이스를 근거로 관측된 현상에 대한 해석과 대책을, 신뢰도(confidence level), 위급도(a level of urgency) 및 심각도(a level of severity)와 함께 제시해 줄 수 있는 시스템의 개발을 목표로 하고 있다. 이 시스템의 주요한 특색은, 그 시스템이 사용될 발전소의 설비와 환경에 알맞게 측정기기들을 설치하는데 도움을 줄 수 있는 installation advisor 모듈도 포함하고 있다는 것이다.

3.5 터어빈의 모니터링

전문가시스템은 숫자와 기호로 이루어진 자료나 정보를 효율적으로 종합하여 해석할 수 있기 때문에, 복잡한 공정의 monitoring이나 진단업무에 적용하는데 아주 알맞는 테크닉이다. 그런데 증기터어빈 시스템을 monitoring하는데 있어서 진동현상은, 그 원인, 형식 및 결과가 기계에 따라 다를 뿐만 아니라 다소 애매할 수 있기 때문에, 매우 많은 종류의 고장과 여러가지의 증상을 고려해야 하며, 이런점이 야말로 고장진단작업에 본질적인 어려움과 불확실성을 던져주는 요인이 되고 있다. 예를 들어서, 터어빈이 운전속도와 같은 주기의 진동성분은 힘의 불균

형, 시스템의 과도한 뎀핑 또는 stiffness에 기인한 것일 수 있으며, 운전속도의 2배정도 되는 진동성분은 베어링계수의 변동 또는 회전자의 부정렬(misalignment)때문에 일어날 수 있는 것이다. 또한 회전자에 금(crack)이 있기 때문에 일어나는 고조파 진동의 원인을 회전자의 불균형(unbalance)이나 부정렬상태때문인 것으로 착각한다면, 그것은 비싼 대가를 치루어야 하는 실수일 것이다.

EPRI에서는, 이러한 진동이나 소리가 나는 현상에 대해 그자료들을 수집해서, 여러가지 신호처리기법들을 사용하여 분석한 후, 회전자의 위치, 축이나 커플링의 위치, 베어링의 온도 및 터빈의 운전성능등에 관한 자료와 종합해서 판단함으로써, 근본적인 원인이나 문제점을 파악하고, 가능하면 그에 대한 대책도 제시해 줄 수 있는 모니터링시스템의 개발프로젝트를 진행중이다. 여기에서는, 여러가지 사고의 원인과 그 증상에 대해 rule base를 더욱 확장하는 문제와, 주기적이며 연속적인 monitoring프로그램을 개발하고 계측장비들의 정확성과 효율성을 향상시키는 문제가 남아있다.

한편 ABB(Asea Brown Boveri)사에서는, 발전기의 출력, 전압, 전류, 회전자의 속도, 진동의 크기, 베어링의 온도, 윤활유의 온도와 터빈케이스및 벨브와 관의 온도, 증기의 온도와 압력, 냉각기와 가열기의 용매의 흐름, 벨브의 위치등에 관해 수집된 데이터들을 종합해서 그 유효성을 확인하는 과정을 거친 후, 대개 부하 또는 출력에 관한 2차함수로 결정되는 기대치와 실제의 측정치간의 편차가 너무 커서 어느 정도의 확률로 이상이 있다는 것으로 판단되면, 그에 따른 경고 메시지를 내보내고 편차의 크기에 따라 경고장치를 작동시킨다든지, 나아가서는 적절한 대책까지 제시해 줄 수 있는 시스템을 개발하고 있는 중이다. 또한 정상운전의 경우에는 evaluation mode에서 사용자가 보기 원하는 많은 데이터들을 bar chart, plant diagram, trend curve 등 여러가지의 형태로 출력해 보일 수 있도록 설계되고 있다. 이러한 evaluation작업은 항상 일정한 주기마다 background mode 에서 행해지며, 약 6분마다 증기의 입구와 출구에서의 온도 및 압력을 측정하여 구한 열효율 값과, 출력에 의해 결정되는 열효율의 기대치를 비교, 평가할 것이다. 또한 데이터를 저장하는 기억장치는 24시간까지 보관하는 단기간 기억

장치와 장기간 기억장치가 있는데, 단기간기억장치에는 진단및 평가에 관련된 모든 데이터를 보관하지만, 장기간 기억장치에는 오직 의미있는 결과를 나타내는 데이터만 보관하기로 한다.

3.6 열효율의 향상

열효율저하현상을 진단하는 문제를 계산적인 방법으로 처리하기에는 너무나 복잡하고 어려워서 체계적인 해석방법을 적용하기가 지극히 곤란하므로, 플랜트엔지니어들이 갖고 있는 지식과 현장에서 얻어지는 자료 및 정보를 처리하고 또한 그 결과를 근거로 해서 열효율저하문제를 진단하여 적절한 대책을 수립하는데 있어서 훨씬 효율적인 방법으로서 전문가 시스템의 역할이 더욱 기대된다.

EPRI에서는 화력발전소에서의 열효율저하문제에 대한 원인을진단하고 그 대책을 마련하는 업무에 종사하는 운전자나 기술자들을 도와줄 수 있는 시스템을 개발, 시험중인데, 이 프로젝트의 목적은 전산상에 걸쳐서 쉽게 보급, 확산될 수 있도록 설계에 충분한 신축성을 부여하는 한편, 공장 또는 발전소의 운전조건에 크고 작은 변화가 있다라도 열효율의 향상에 만전을 기할 수 있도록 해보자는 것이다.

시간에 따라 열효율문제를 정확하게 진단함으로써 현존하는 문제를 확인하고 그 대책을 수립할 수 있도록 하는 전문가시스템은 발전소의 성능에 관련된 인자들을 철저히 이해하고 있어야 하며, 또한 발전기의 성능에 관한 자료들을 on-line으로 얻을 수 있어야 할 것이다. EPRI연구소의 내부보고서 "기존화력발전소에 대한 열효율개선책(Heat Rate Improvement Guidelines for Existing Fossil Plants) 에 의하면 열효율을 저하시키는 요인들은 다음과 같다.

- i) 보일러의 문제 : 보일러자체의 효율, 배기가스 온도, 가열기에 공급되는 공기의 온도차, 지나치게 많은 공기, 진공펌프문제
- ii) 터빈사이클 손실 : 급수온도차
- iii) 냉각수사이클 손실 : 냉각기의 후압, 순환수입구의 온도
- iv) 터빈 손실 : HP/IP/LP 손실, 증기의 흐름, 발전기의 출력
- v) 발전소내부하에 의한 전기적 손실
- vi) 연료처리과정상의 문제로 인한 손실

그리고 EPRI에서 설계중인 열효율전문가시스템(Heat Rate Degradation Advisor)은 다음과 같은 3가지 source로부터 발전기의 성능에 관련된 데이터의 입력을 받는다.

i) 플랜트 컴퓨터에 의해 실시간 각 읽혀지는 센서데이터

ii) 플랜트 컴퓨터에 연결되지 않은 센서들로부터 들어오는 데이터

iii) off-line 측정치와 정성적 관측결과의 수동입력

또한 이 시스템은 센서들의 종류나 개수가 다른 계통에 설치해도 잘 동작할 수 있는 신축성을 갖도록 설계되는데, 받아들일 수 있을 만큼 정확한 진단과 조언을 제공할 수 있기 위해 필요한 최소한의 센서들과, 서로 다른 수준의 정밀도의 장비를 사용하여 얻어지는 측정량의 정확도를 결정하는 것이 중요한 설계사항중 하나이다. 이 시스템은 기존의 on-line performance monitor와도 결합하여 사용할 수도 있는 한편, 다른 performance monitor가 없어도 사용할 수 있도록 내부적인 성능계산모델도 포함하는 것으로 설계되고 있으며, 그 user interface는 운전자의 요구에 맞추어서 발전소의 운전상황에 대한 그래픽출력을 최대한도로 이용하는 방향으로 될 것이다. 그 스크린상에는 메뉴와 전 시스템 및 개별 요소들의 그래픽, 특정상태의 변화동향에 대한 그래픽, 대화윈도우(dialogue window) 및 자료표(datatable)등이 나타나게 될 것이며, 사용자들은 입력자료는 물론 어떤 이상상태를 진단하고 그 예방보수대책을 제시하기 위하여 이용된 논리적근거를 볼 수도 있고 또한 기존의 데이터베이스에다가 각발전소나 전력회사의 고유한 정보를 첨가할 수도 있게 될 것이다.

한편 스위스의 ABB사에서 개발되고 있는 열효율문제진단용 전문가시스템은 플랜트를 여러개의 기능적그룹 또는 블록(예를 들면 HP터어빈, IP터어빈, 냉각기등)으로 나누어서 각 부분의 열효율에 미치는 영향을조사, 해석하고, 정상상태에서의 각 요소의 온도, 압력등에 관한 자료들을 철저히 검토함으로써, 각 부분에 대한 성능치, 즉 터어빈의 효율, 냉각기의 진공상태 및 열부하, LP터어빈과 HP터어빈의 가열기 온도차 및 열효율에 대한 영향따위를 결정한다. 그리고, 이러한 각 부분의 성능치 뿐만 아니라, 그런 값들이 목표치로부터 얼마나, 왜 벗어나

있는가도 보여주게 될 것이다.

또한 미국의 Southern California Edison사와 Combution Engineering(Impell Corporation)사간에 공동으로, 화력발전소의 열효율저하현상을 진단하는 전문가시스템 SMOP(Smart Operator's Aid for Power Plant Optimization)를 개발하려고 하는 프로젝트가 진행중에 있다. 이 시스템은 현장에서 자료를 받아 플랜트의 성능을 관측하고, 성능관측시스템(PPMS: Plant Performance Monitoring System)을 사용하여 받아들인 정보를 근거로 플랜트의 성능을 향상시키기 위한 대책을 제시해 주도록 설계되고 있으며, 이 SMOP 프로젝트의 주요한 특징은 다음과 같다.

—플랜트의 컴퓨터시스템에 종합적으로 설치된다.

—운전자가 입력해야 하는 자료나 정보의 양을 최소화한다.

—다른(재래적) 시스템으로부터 얻어지는 데이터도 이용할 수 있다.

—인간전문가들의 사고과정을 모방한 고급 추론기능은 조잡한 데이터는 물론, 플랜트성능 관측시스템에 의해 얻어진 복잡한 성능데이터, 열평형모델 및 제어시스템에 대해서도 잘 동작된다.

—시스템의 설계와 coding 및 시험과정이 용이하다.

—플랜트전문가가 아닌 사람에 의해서도 유지, 보수, 수정될 수 있다.

—운전자에 의해 제어될 수 있는 열손실이나 부분적인 사고를 신속하고 정확하게 진단할 수 있으며, 또한 이러한 진단결과의 합리성과 정당성을 보장하기 위하여 그 근거를 밝혀 주는 logic fault tree에 대한 그래픽에서 가장 가능성이 높은 자료를 보여 주든지, 또는 그러한 결론에 이르게 된 논리적 근거와 자료들을 열거하는 메세지를 출력해 준다.

—열효율의 저하를 방지하고, 나아가서는 열효율을 향상시킬 수도 있는 대책을, 그 시행의 용이성 및 경제성을 나타내는 지수와 함께 제시해 준다.

—항상 플랜트의 현재상황을 볼 수 있도록 해주며, 운전자는 스크린상의 해당지점을 만지기만 함으로써 시스템에 대해 질문을 제기할 수 있다.

이 밖에도 SMOP의 기능을 더욱 고급화하기 위해서, 지식베이스를 자동적으로 수정하거나 update할 수도 있고, 또 대화를 통하여 지능적인 방법으로 센

서들의 데이터를 확인함으로써 그 신뢰도를 높이면
서, 불량데이터에 근거한 추론의 오류를 방지할 수
도 있도록 하는 계획도 추진 중이다.

3.7 콘덴서 및 급수가열기의 문제

콘덴서(Condenser) 및 급수가열기(FWH :
Feedwater Heater)의 문제는, 운전정지 및 열효율
감소의 주된 원인 중 하나이다. 정상운전의 경우에
있어서 급수가열기는 그 기능이 정지되거나 성능이
저하되는 경우가 많으며, 대부분의 원인은 관의 결
합, 물의 화학적성질, 통풍문제 및 밸브제어기능의
결함등에서 찾을 수 있다. 또한 콘덴서성능의 저하
문제의 원인은, 수관의 형태, 지나친 공기의 누출,
공기제거장치의 오동작, 냉각수순환계통의 이상 그
리고 크고 작은 불순물파유이다.

EPRI에서는 콘덴서와 급수가열기의 성능저하, 동
작불능 또는 오동작문제를 진단해주는 전문가시스템
인 Condenser Advisor와 FWH Advisor를 개발하고
있는 중인데 이 시스템의 구조는 열효율저하문제진
단용 전문가시스템(Heat Rater Degradation Advi-
sor)과 비슷하며, 특히 수동으로 입력되는 정보와
플랜트에 설치된 컴퓨터로부터 입력되는 자료는 물
론, 컴퓨터에 연결되지 않은 센서로부터 들어오는
데이터도 읽어들이 수 있도록 하는 것을 목표로 하
고 있다.

원래 급수가열기진단시스템(FWH Advisor)은 대
부분의 급수가열기문제가 아주 완만하게 진행되기
때문에, 실시간데이터 처리능력을 갖도록 한다고 해
서 특별한 이득을 취할 수 없었기 때문에 off-line으
로 사용되도록 하는데 초점이 맞춰져 있었다. 그러
나 특히 on-line 누수검사 시스템을 갖춘 플랜트에
대해서는 그러한 상황이 변하게 되었으며, 따라서
최근 급수가열기진단시스템은 on-line데이터의 처리
및 해석이 가능하도록, 또는 그러한 방향으로 수정
될 수 있도록 설계되고 있다.

이러한 급수가열기진단시스템(FWH Advisor)과는
달리, 콘덴서진단시스템(Condenser Advisor)은 처
음부터 on-line시스템으로 설계되고 있다. 즉 플랜트
의 성능에 관한 파라미터들을 관찰함으로써, 플랜트
에 더 심각한 손상이 일어나기 전에 문제를 진단하
여 적절한 대책을 마련, 시행하는 한편, 시스템의

운전정지시간을 최소화하는 방향으로 보수계획을 수
립할 수 있도록 하는 것을 목표로 하고 있다.

4. 결 론

지금까지 EPRI를 비롯한 몇몇 연구소에서 발표한
보고서나 논문을 조사함으로써 발전소의 여러가지
업무에 대해 적용할 수 있는 전문가시스템의 국제적
인 개발동향과 그 기술수준을 살펴 보았는 바, 이와
같은 자료들을 근거로 금후의 개발과제와 장래의 전
망에 관하여 언급하고자 한다.

4.1 개발과제

1) 프로토타입시스템의 개발

전절에서 살펴 보았던 발전소의 운전, 유지, 보수
및 관리업무에 관련된 여러가지 전문가시스템중 필
요성과 타당성, 그리고 실현가능성 및 기대효과를
종합하여 평가할 때, 우리의 실정으로 보아 가장 적
절하다고 생각되는 분야를 선정하여, 그 분야에 효
과적으로 적용될 수 있기 위한 조건이나 사양을 결
정한 후에 연구팀을 구성하여 시작품의 개발에 들어
간다. 이때 해당분야에 정통한 전문가와 개발될 시
스템을 직접 사용할 실무자를 차출하여 연구팀에 참
여시킴으로써 적극적인 기여를 할 수 있도록 하는
것은 매우 필요한 일이며 또한 바람직한 일이다.

2) 지식베이스의 확충

지원대상영역에 관한 넓고 깊은 지식을 여러가지
수단과 경로를 통하여 획득함으로써 시작품을 개발
하는 중에 얻어진 지식베이스를 확충할 필요가 있
다.

3) 정확하고 간단한 플랜트동작 예측모델의 구성

이상의 조기발견이나 적절한 대책의 수립에 필수
불가결한 플랜트모델은, 지원대상영역을 확대함에
따라 급속히 커진다. 따라서 물리적모델 뿐만 아니
라 퍼지 모델들을 병용한 함축적이고 집약적인 플랜
트모델을 개발할 필요가 있다.

4) 유연한 추론방식의 개발

시작품의 평가시험은, 단일 원인에 의해 일어난
사고에 대해, 관련정보를 정상적으로 확실하게 입수
할 수 있고, 또한 정적인 플랜트상태와 같은 아주
양호한 환경하에서 행해지는 것이 보통이다. 그러나

실제의 환경에서 차질없이 설계된 기능을 제대로 발휘할 수 있기 위해서는 2가지 이상의 사고가 동시다발적으로 일어난 다중사고의 경우, 또는 정보가 충분하지 않거나 부분적으로 잘못된 정보를 포함하고 있는 좋지 않은 환경에도 대처할 수 있는 강인한 추론방식을 개발할 필요가 있다.

5) 관련시스템간의 연계

기능체계적으로 관련된 여러개의 부시스템간에, 그리고 병행 개발이 가능한 시스템들(개별기기집단 시스템, 현장이상검출시스템들)간에 통합이나 역할 분담에 대한 검토가 필요하다.

6) 자연스러운 대화방식

훈련용 시뮬레이터를 사용한다든지 하여 오퍼레이터가 이상을 인지하는 과정에 관한 연구를 행함으로써, 오퍼레이터 지적감각에 보다 알맞는 인간적 대화방식을 개발할 필요가 있다.

4.2 기대효과

전술한 바와 같은 개발과제를 해결하고, 시스템의 구상단계에서 묘사된 운전지원 시스템을 발전소에 도입하면, 전문가의 지식과 추론기능을 함께 갖춘 운전시스템은 대상플랜트의 운전경험이 적은 미숙한 오퍼레이터에게는 풍부한 경험을 가진 능숙한 조인자로서의 기능을 하며, 급후 오퍼레이터에게 일반적으로 요구되는 지식의 고도화와 양적 확대, 그리고 판단의 신속성과 신뢰도의 향상에 기여할 수 있고, 따라서 발전플랜트의 안전하고도 경제적인 운전을 향하여 크게 공헌하게 되리라 기대된다.

또한, 지식공학을 이용하여 운전지원시스템을 구성하는 일은, 운전기술을 근본적으로 재인식하고 그 구조와 자료를 정리하여 체계적으로 구성하는 작업을 포함하며, 이것은 오퍼레이터가 자신의 운전기술을 연마하는 과정과 같다. 따라서 이러한 시스템의 개발과정은 오퍼레이터자신의 운전기술을 향상시키는 데 유효하며, 설명 및 질문기능에 의해 시스템의 내부진행상황과 기능적원리가 오퍼레이터에게 투명하게 보여짐으로써 技術의 教育이나 傳承등 부대적인 효과도 충분히 발휘할 수 있을 것이다.

4.3 장래의 전망

현재의 국제적인 개발동향과 발전추세로 보아 수 준의 차이는 있겠지만 앞으로 수년내에 현장에서의 실증시험을 거쳐 실용화된 시스템이 여러분야에서 속속 출현할 것으로 보인다. 그럼에도 불구하고, 지식공학을 응용한 플랜트운전지원시스템의 필요성과 기대가 높아지는데 비해서 광범위한 지식을 망라하고 게다가 스스로 자신의 지식베이스와 추론능력을 향상시켜 갈 수 있는 학습능력을 갖춘 시스템이 가까운 장래에 실현될 수 있을 것이라고 전망되지는 않으며, 더구나 단독으로 인간을 완벽하게 대신할 만한 기능을 가진 시스템을 쉽사리 기대할 수는 없으리라 여겨진다.

그러므로 어떤 기계가 인간과 비슷한 특히 속도와 같은 몇가지 면에서는 인간보다 우월한 계산능력이나 추론기능을 갖도록 개발되었다고 해도, 그러한 시스템을 과시함으로써 초래될 수 있는 위험을 예방하면서 운전지원시스템의 기능을 충분히 활용하고 플랜트 특성 및 주위상황의 변화에 따라 그 성능을 개선하기 위해서는 역시 오퍼레이터자신의 운전지원시스템연마가 중요한 일이 아닐 수 없다.

또한, 앞으로 시스템을 개발하는 단계에서 오퍼레이터들의 적극적인 협조가 필수불가결한 요소이며, 그러한 과정은 오퍼레이터들의 기술수준을 더욱 높여주는 상승효과를 발휘하게 된다. 그리고, 궁극적으로 인간전문가를 대신할 수 있는 컴퓨터보다는, 인간과 더욱 넓고 깊게 교류할 수 있는 시스템의 중요성이 부각될 것이다.

참 고 문 헌

- [1] L. James Valverde A, Jr Stephen M. Gehl, Anthony. F. Armer, John Scheibel and S. Murthy Divakaruni, "Fossil Power Plant Applications of Expert Systems: An EPRI Perspective", Electric Power Research Institute, California.
- [2] G. Lindberg and P. Jauhiainen, "On-line condition Monitoring of Power Station Components using Expert Systems", ASEA Brown Boveri AG, Switzerland.
- [3] R. P. Papilla and E. J. Sugay, "SMOP: Smart Operator's Aid for Power Plant Optimization." Southern California Edison, California: Impell Corporation,

- California.
- [4] G.Kozlick, "Review of Fossil Plant AI Applications", Northern Indiana Public Service Co., Indiana.
- [5] J.F.Cheng, Ray Chiang, C.C.Yao, Anthony J.Spurgin, D.D.Orivs, Bill K.H.Sun, David G.Cain, C.Christensen, "Evaluation of An Emergency Operating Procedure Tracking Expert System by Control Room Operators", Taiwan Power Company, taiwan, Republic of China; Accident Prevention group, San Diego, California; Electric Power Research Institute, California; General Electric Company, San Jose, California.
- [6] M.Rijckaert and W.Bogaerts, "The Incorporation of Knowledge-Based Aids within the Control and Operation of a Power Plant", IFAC Symposium on Power Systems, Modelling and Control Applications", Brussels, 1988.
- [7] Tomoko Kaneko, Naohisa Tsuzuki, Masuo Sato, Fumi Maruyama (Thosiba Corp); Tetsuo Tamaoki, Hiroki Yamamoto(Nippon Atomic Industry Group Co., Ltd.) ; Hiroshi Takatsuto(Power Reactor and Nuclear Fuel Developemnt Corp.), "Development of FBR Plant Operational guidance System", 2nd Symposium on Expert Systems Application to Power Systems, Seattle, U.S.A., July 1989.
- [8] S.Matsumura, Y.Kojima, T.Tozaki(Chubu Electric Power Company Inc.); Y. Shirasaka(Kyokuto Boeki Kaisha, LTD); M.Suzuki(Baily Japan Co., LTD), "Expert System for ABC(Automatic boiler Controller) Tuning of Once-Through Boiler", 2nd Symposium on Expert Systems Application to Power Systems, Seattle, U.S.A., July 1989.
- [9] A.Kaji, T.Maruyama and Y.EKi(Hitachi, Ltd.), "Development and Aplication of an Expert System (HITREX)" for Plant Operational Support."
- [10] V.K.Chexal, J.S.Horwitz, V.C.Shevde(EPRI); T. C.Kessler(Expert EASE Systems, Inc.), "CHEXPERT: An Expert System for Pipe Corrosion Evaluation", California.
- [11] Ignacia del Angel, Juan, J. Rivera. Edgar N. Sanchez, Jose M. Franco, Edmundo Rios & Eduardo Preciado, "Rotating Machinery Diagnosis using Knowledge-Based Systems", Instituto de Investigaciones Electricas, Mexico.
- [12] Richard J.Carter and Robert I.Uhrig, "Human Factors Issues related to Expert Systems for Electric Power Plants", Oak Ridge, TN 37381.
- [13] K.Lukens, P.Sperber & M.Yamatani, "Expert Systems for flue Gas Desulfurization System Operation", United Engineers & Constructors, Philadelphia.