

電氣設備의 診斷技術

8

4.3 엑스퍼트시스템의 構築과 利用

4.3.1 엑스퍼트시스템 構築 道具

1. 엑스퍼트시스템 構築도구란

전문가의 지식을 格納하기 위한 知識베이스, 知識베이스내의 지식을 이용해서 推論을 實行하는 推論機構, 知識의 人力이나 更新을 행하는 知識베이스에디터, 전문가로부터의 知識獲得·評價와 利用者와의 대화를 위한 유저인터페이스로서 構成되어 있다.

이 중에서 그림 4.7 과 같이 대상분야의 고유지식이 格納되어 있는 知識베이스를 分類하는데 따라서 知識베이스내의 지식을 다만 교환함으로써

任意的 전문분야에 대한 ES를 용이하게 構築할 수 있다.

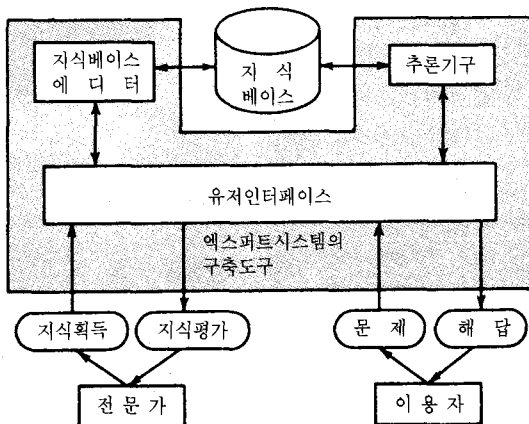
즉 대상분야에 의존하지 않고 知識記述方式을 定하는 知識베이스에디터, 推論실행 프로그램의 推論機構, 그리고 支援環境인 유저인터페이스의 기능이 ES의 개발을 쉽게 하는 소프트웨어 道具가 있는데 이것을 ES構築支援道具(Shell)라고 칭한다.

이와 같은 셸(Shell) 중에는 LISP나 PROLOG 등의 言語에의 의존도가 높은 것으로부터 問題에 대한 유저인터페이스를 全面으로 끄집어낸 여러 가지가 있으나 實用性を 重視하는 유저間에는 프로그래밍言語나 知識工學의 지식을 갖지 않아도 ES를 構築할 수 있는 道具에의 요구가 강하다.

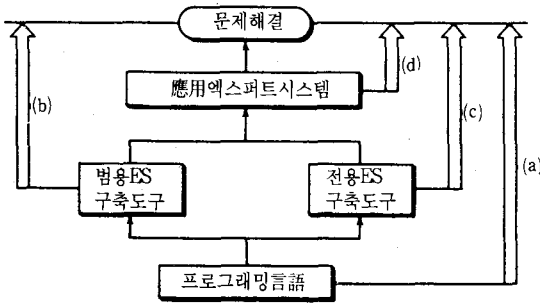
2. 프로그래밍言語와 知識表現言語

ES를 專用시스템으로서 프로그래밍言語(LISP, PROLOG, FORTRAN C 등)를 이용하여 직접 개발하면 問題영역고유의 지식이나 推論의 특징을 加味하여 처리효율이 높은 융통성있는 시스템을 개발할 수 있으나 專用道具의 제작을 필요로 하므로 開發工數가 증대하게 된다.

한편, 知識表現言語 또는 ES 開發言語라고 하는 汎用 ES 構築道具를 사용할 경우 개발기간의 단축은 크게 가능하나 特정한 問題분야에 무관한 기능을 運休하게 한다든지 道具와의 妥協에 불만이 있더라도 사용하게 되는 경우가 있다. 이들의 선



<그림 4.7> 엑스퍼트시스템의 構築도구



<그림 4.8> 엑스퍼트시스템의 개발과 언어

택은 문제영역의 규모와 종류, 개발능력, 개발기간 및 효과 등을 충분히 고려해서 결정한다.

그림 4.8은 문제해결에 있어서 실현과정의 事例를 나타낸 것이다.

- (a) 프로그래밍言語를 사용해서 專用 ES 構築道具를 포함한 전체를 개발하는 경우
- (b) 범용 ES 構築道具를 이용하는 방법이며 市販되고 있는 도구중에는 소프트웨어의 지식이나 KE(Knowledge Engineer)의 介在가 필요한 것도 많다.
- (c) 전용 ES 構築도구에는 미리 특정분야에 공통적인 순서 등이 짜여 있으며 전문가 자신으로서 ES 構築이 가능한 경우도 있다. 대규모 플랜트 등 복잡한 대형 ES에는 프로그래밍言語로부터의 개발이나 범용 ES 構築도구가 필요하나 비교적 소규모인 機器單位의 ES에서는 전용 ES 構築도구가 편리하다.
- (d) 특정분야에 대하여 완성된 ES를 이용하는 사례이며, 가장 효율적인 것이긴 하나 市販 소프트웨어로서는 그 數가 적다.

3. 汎用엑스퍼트시스템의 構築道具

a. ES 構築道具의 選擇 : 다수의 ES 構築道具中에서 사용할 道具를 선택하는 경우에 가장 중요한 것은 構築해야 할 ES의 목적과 위치설정을 명확히 하고 그 용도(연구, 플롯 타입, 제품)는 무엇인가, 또는 누가 구축해서 사용할 것인가 등을 결정하는 것이 매우 중요하다.

ES 構築道具는 소프트웨어이며 그 능력은 사용

자의 능력위에서 발휘되는 것이다. 따라서 構築해야 할 ES에 이러한 기능이 정말 필요한 것인지 아니면 그 기능을 사용자 자신이 충분히 사용할 수 있는지를 고려하여야 하는데 지나치게 고도의 기능을 요구하는 것은 득이 안된다.

또한 좋은 ES는 좋은 개발환경에서 구축되어야 한다는 것이 중요한 일이다. ES구축에는 전문가·KE·사용자 및 관리자 등 많은 관계자의 협력이 필요하며 ES 구축도구를 선택하는 초기단계에서 개개인의 의견을 들어서 개발환경을 정비하는 것이다. 그리고 ES 구축도구를 入手한 후에도 道具메이커의 애프터서비스나 교육과정을 받아 그 기능을 충분히 발휘시키는 것이다.

b. ES 構築道具의 分類 : 제 1 세대의 ES 구축도구는 대부분이 룰베이스를 지식표현으로 한 간이 프로그래밍 모델이 주체였기 때문에 여러 분야에 적용시에 잘못 취급하는 문제영역이 생겨나게 되었다.

이에 대해서 표 4.4에 나타난 대규모 하이브리드道具는 規則과 프레임을 베이스로 한 知識表現으로서 제 2 세대의 ES 構築道具라고 부른다. 이들 도구의 특징은 知識表現이나 推論機能을 重視하고 있기 때문에 복잡한 대규모 분야의 ES 構築에 적합하며 폭넓은 問題領域의 推論에도 對應이 가능하다. 따라서 이들 道具의 이용에 관하여는 技量이 있는 KE가 관여하는 경우가 많다.

中規模道具는 第 1 世代道具의 의사를 이어받아 발전한 것이며 최근에는 룰베이스뿐만 아니라 프레임이나 다른 지식표현을 서포트하는 도구도 개발되어 왔다. 이들 도구의 추론속도는 비교적 빠르고, 지식표현을 포함하여 상당히 실용적이다. 또한, 프로그래밍모델의 展望이 좋기 때문에 그보다 高度의 技量을 가진 KE의 필요성은 없고 問題領域에 따라서는 전문가 자신에 의하여 ES의 구축이 가능하다.

小規模 誘導形 道具는 전문가가 간단히 ES를 구축하기 위한 道具가 되며 知識獲得의 간소화나 誘導가 그 기능의 주체가 된다.

<표 4.4> ES 구축도구의 분류

분 류	특 징	대 표 사 례
대규모 하이브리드 도구	<ul style="list-style-type: none"> • 本格的 ES構築用 • 다양한 知識表現과 推論 機能 • 高度의 知識處理 프로그램 環境 	KEE(Intelli Corp.) ART(Inference Corp.) Knowledge Craft(Carnegie Group) S.I(Tecnowledge) ESHELL(富士通) EXCORE(日本電氣)
중규모 도구	<ul style="list-style-type: none"> • 實用的인 處理速度와 知識表現 • 간이한 프로그래밍 모델 	EX/KERNEL, EUREKA-II(日立) ESE/VM(IBM) OPS83(Production System Technology)
		MYEXPERT(東芝) OPS5(DEC) COMEX(富士電機)
소규모유도형 도구	<ul style="list-style-type: none"> • 간이한 지식획득 · 지식유도 	Rule-Master(RADIAN Corp.)

c. ES 構築道具의 機能

(1) 知識表現法: 지식표현의 주된 것은 規則과 프레임의 표현에 있다. 규칙베이스의 표현법은 추론에 다소 시간이 걸리나 인간의 지식을 記述하는데는 비교적 자연스럽고 구조화되어 관리하기가 쉽기 때문에 대부분의 道具는 이 表現法을 서포트하고 있다.

최근에는 규칙을 표현하기 위하여 道具를 사용하여 事實을 표현하기 위하여 프레임을 組合시킨 ES가 증가되었다. 예를 들면, 機器의 内部構造는 프레임에서, 機器間의 조건은 規則으로 표현되는 併用方式이 있다.

(2) 推論方法: 추론방법에는 假說을 所見에 의해서 검증하는 後向推論과 所見에 의해서 결론을 구하는 前向推論이 있으며 單獨으로는 물론이고 兩者를 組合함으로써 推論機能의 向上을 도모하는 道具가 눈에 띄고 있다. 또한 事項의 發生이나 因果關係의 애매모호성에 관해서 確信度(CF값)를 서포트하고 있는 道具가 많다.

(3) 유저인터페이스: 지식의 획득 · 유지보수 · 이용에 관한 기능은 人間對機械의 相互接合을 포함한 道具의 이용자로서 대단한 기능이 있다. 中規模 이상의 道具에는 知識의 檢證이나 推論의 過程을 서포트하는 기능이 있으나 다량의 知識을 整

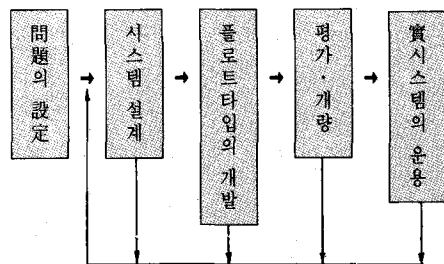
理獲得하는 기능은 연구의 余地가 있다. 또한 기존 시스템으로부터의 呼出에 대응하기 위하여 一部の 道具에는 組合形 ES로서의 運用이 가능한 서비스루틴이 제공되어 있는 것도 있다.

4.3.2 엑스퍼트시스템의 構築順序

1. ES 構築順序와 問題의 設定

ES 構築道具를 이용하고 새로운 實用을 목적으로 하는 ES를 구축하는 경우의 순서는 그림 4.9와 같다.

ES의 응용분야는 여러 분야에 걸쳐 있으므로 해결해야 할 문제는 ES를 사용하는 것이 적절한가 아닌가를 검토할 필요가 있다. 일반적으로 ES는 다음과 같은 문제에 적용한다고 되어 있다.



<그림 4.9> 實際시스템 構築의 順序

- (1) 認識能力에 관계된 常識을 필요로 하지 않는 문제
- (2) 事實의 專門家가 존재하며 그 해결방법이 제시되는 문제
- (3) 너무 어렵지 않고 상당한 정도가 파악가능한 문제
- (4) 실용적 가치가 있고 문제영역이 넓지 않은 문제
- (5) 장래 전문가가 부족하고 전문지식이 필요하게 되는 문제

특히 實用的인 ES를 목적으로 하는 경우는 對象이 되는 문제가 數理的 接近으로 해결되는 것이 있을까, 知識工學的인 접근을 필요로 하는 문제인가를 검토하여 문제의 복잡성을 완화할 필요가 있다. 따라서 ES가 적용될 수 있는 문제를 형태별로 분류하면 다음과 같다.

- (1) 지금까지의 手法으로는 해결이 곤란하거나 또는 해결의 레벨이 불충분한 문제
- (2) 試行錯誤的인 접근이 필요하며 기존의 소프트웨어 구조로서는 개발이 곤란한 문제
- (3) 문제해결을 위한 소프트웨어의 개발은 완성되어 있으나 維持 補修性이나 生産性을 改善하고 싶은 문제

이와 같이 문제의 설정은 ES에 대한 開發開始의 意思決定을 할 때 중요한 과정이 되며 시스템의 개발이 성공되는가의 如否를 결정하는 중요한 부분이 된다.

2. 시스템의 設計

知識베이스를 구축하여 ES를 개발하기 위해서는 ES의 소프트웨어와 하드웨어를 설계해야 한다. 소프트웨어의 설계는 전문가의 지식을 이용하여 추론하는데 가장 적합한 知識表現이나 推論方式을 결정하는 것인데 이것은 문제의 영역과 公知의 事實이나 專門家의 知識內容, 그리고 ES 구축도구의 기능에 의해서 선택된다.

하드웨어는 시스템의 구성, 유저인터페이스, 데이터베이스 및 기타 시스템과의 제휴를 고려해서 설계한다.

3. 플로트타입의 개발과 평가 및 개량

a. 知識의 獲得과 整理 : ES의 良否는 知識베이스의 구축방법에 관련되어 있으며 어떤 우수한 전문가가 존재하여 高機能의 道具를 사용한다하여도 知識베이스의 전문지식 移植이 부적당하면 知識은 이용될 수 없다. 이를 위하여 전문가와 지식모델 간에 KE(Knowledge Engineer)가 介在하여 그림 4.10과 같이 지식의 획득과 평가를 반복해서 충분히 실용할 수 있는 ES가 될 때까지 성장시키는 것이 중요하다.

지식획득의 합리화에 관해서는 지식의 입력이나 편집, 유지, 관리를 용이하게 한다거나 지식의 자동획득 등이 고려되고 있으나 현재로서는 각 분야의 전문가와 구축도구를 숙지한 知識工學的의 능력에 의존하는 비율이 많다. 따라서 知識工學에는 다음과 같은 必要條件을 갖추어야 한다.

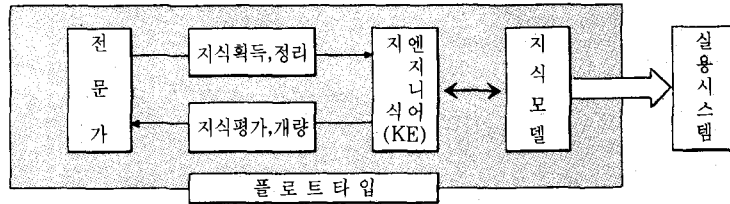
- (1) ES 구축도구에 대해서는 충분한 지식을 가질 것
- (2) 전문가의 정보를 정확히 이해할 것
- (3) 전문가와의 對話인터뷰의 지식을 가질 것

그러나 이와 같은 KE의 역할도 道具를 AI(Artificial Intelligence) 전용 프로그래밍言語에 의존하지 않고 汎用性이나 人間對 機械인터페이스 면에서 우수하다면 전문가 자신이 작업을 실시하는 것도 가능하다.

지식의 정리는 전문가의 지식을 정리하여 知識베이스에 구축하는 작업으로서 汎用的인 道具를 사용할수록 知識表現의 융통성은 높아지나 전문가의 이미지와의 갭이 커지고 지식획득이 어려워지기 때문에 완성된 專門家시스템의 성능은 나빠지게 된다.

일반적으로 프로덕션규칙의 知識表現은 유연성이 있고 전문가와의 親和性이 좋은 것처럼 보이나 規則의 數가 증가하면 지식전체를 파악하여 改良하는 것이 곤란하게 되므로 프레임에 의한 지식표현이 유효하게 된다.

b. 知識의 評價와 改良 : 知識베이스에 格納된 지식은 실험실수준에서 事例테스트가 반복되면서 評價와 改良을 시행하고 플로트타입으로서 레벨업



<그림 4.10> 지식모델의 구축

(Level up)된다. 또한 유저 인터페이스 및 補助道具 등의 개발도 이 時點까지 완료시킨다.

실제 환경하에서 필드테스트(Field Test)에 의한 개량은 플로트타입으로 얻어진 지식과 같은 정도 이상의 知識量을 획득하게 되는데 유저와의 인터페이스도 더욱 충실한 내용으로 개선될 수 있다.

4. 實시스템의 運用

엑스퍼트시스템(ES)은 本質面에서 운용후에도 개량이 진전되어 레벨업된다는가 환경조건의 변화에 追從하여 知識베이스가 변경되는데 점차 完成度가 높은 시스템으로 성장한다. 이것은 ES의 이용효과는 물론, 知識베이스가 技術傳承이나 새로운 技術開發의 기반으로써 새로운 발전으로의 도약의 발판이 된다.

4.3.3 엑스퍼트시스템의 應用

1. ES의 이용목적

지식은 보편적이며 이것을 취급하는 ES는 폭넓게 모든 분야에 걸쳐 있다. 설비진단기술분야에 있어서 問題解決을 위하여 종래의 프로그램방식에 의존하지 않고 知識工學的 방법이 이용되는 이유는 다음과 같다.

최근 산업플랜트는 대규모로 복잡화되어 설비진단기술의 역할은 점차 중요한 위치를 차지하게 되는데 설비를 양호한 상태로 유지하기 위해서는 깊고 폭넓은 고도의 기술이 필요하게 된다. 특히 設備의 高度化에 대응하는 관리인의 양성이나 노령화에 의한 경험이 풍부한 기술자의 확보가 곤란하여 新技術에의 對應과 經驗技術의 傳承은 필수적인 時期를 맞이하게 되었다.

따라서 이의 해결책으로서 專門知識에 의한 복잡한 문제를 해결하는 엑스퍼트시스템의 도입은 앞으로 設備診斷에 必要不可缺한 기술이 될 것이다.

일반적으로 대규모의 플랜트에 있어서 設備診斷 ES는 전용의 ES 구축도구와 특정한 知識工學에 기초를 두어 構築이 진행되고 있다.

그러나 비교적 규모가 작은 機器單位레벨의 설비진단 ES는 대부분이 경험을 주체로 하는 實務 專門家の 知識을 이용하기 때문에 범용 ES 구축도구에 의해서 전문가 자신이 구축할 수 있는 性能 對費用이 좋은 ES가 조건이 된다.

ES는 해결해야 할 問題構造가 불명확하고 지식의 조합이 많아 그 내용에 수치적인 것과 비수치적인 것이 포함되므로 知識의 내용에 의해서 推論이 변화되는 問題解決이 유망하다.

設備診斷에 있어서 문제가 되는 많은 症狀에는 반드시 原因이 있고 여기에는 確定的이고 論理的인 因果關係로 成立되어 있다. 한편 전문가에게 축적되어 있는 다수의 경험적인 사실은 애매모호하고 복잡한 것이며 관측된 사실에 의해서 올바르게 원인을 규명하고 정하는 것도 사실이며 설비진단은 경험과 이론의 양면에서 효율이 좋은 문제해결을 행하는 분야라고 말한다.

즉 이들의 지식에 의해서 구축된 設備診斷 ES는 非專門家에 있어서 고장의 조기발견과 적절한 대응으로 意思決定을 지원할 수 있는 것은 물론이고 지식베이스를 구축한 專門家라도 자기의 지식을 정리하여 새로운 전문적인 事實의 발견에 도움이 되는 것도 많다.

2. ES의 應用別 分類

ES의 응용분야는 광범위하고 여러 가지 실용시

<표 4.5> 일본에 있어서 설비진단 ES의 응용사례

適用對象		對象과文獻
機 械	回轉機械	送風機, 回轉機
	靜止機械	石油탱크
電氣機器	回轉機	高壓回轉機, 直流機, 發電機
	靜止器	變壓器, 變電機器
플랜트시스템	製造플랜트	高爐, 原子爐
	시스템機器	壓延機, 物流機器, 列車
電子裝置		計算器

스텝구축에의 試圖가 이루어지고 있다. 표 4.5는 일본에서 발표된 設備機器를 중심으로 한 ES에 관한 논문의 事例로서 참고하기 바란다.

3. ES의 設備診斷에의 適用

設備의 고장을 진단하는 목적은 檢知된 정보로부터 그 내용을 식별하고 원인을 추정함으로써 對應策을 立案하는데 있다.

이 과정에서 첫번째로 유효한 ES의 적용은 많은 정보중에서 종래 單一機能의 센서로부터 얻지 못한 유익한 정보를 전문가의 경험이나 지식에 의해서 가공하고 異常을 檢知하는데 있다.

이것은 On-Line형 ES에 의한 설비진단으로서 비교적 卽應性을 필요로 하지 않는 設備機器를 대상으로 하는 경우에 유효하다.

두번째의 적용은 정보의 내용을 식별하여 故障原因이 된 部位나 程度를 推定하는데 있으며 표 4.5의 ES 應用事例도 대부분은 이 분야를 목적으로 하고 있다. 그 또한 異常程度의 進行豫測이나 故障原因에 대한 最適의 解決策을 求하는 것도 많은 경험지식을 필요로 하는 분야로서 엑스퍼트시스템이 유효하다.

4.3.4 엑스퍼트시스템의 實際

1. ES 構築道具의 機能

設備診斷 ES는 新技術에의 對應과 經驗技術의 傳承을 목적으로 폭넓은 分野에 점차적으로 적용되고 있다. 또한 설비진단기술의 전문지식은 각각 특

징이 있으며 그 知識表現이나 推論方法도 다르므로 가장 적합한 ES 구축도구의 선택이 중요하다.

범용 ES 구축도구는 각종 문제해결에 공통적으로 사용되는 知識베이스 構築의 簡易言語이며 實用적인 面을 고려해서 다음과 같은 機能이 필요하다고 생각된다.

- (1) 문제영역이 전문가에게 알기 쉬운 지식표현과 추론방식이 있다.
- (2) 간편하게 어디에서나 사용되며 전문가 자신에 의한 지식베이스의 구축과 개량이 가능
- (3) 現實의 실용적인 문제에 적용할 수 있다.
- (4) 大規模 知識베이스나 On-Line형 시스템에의 대응도 가능

2. ES 構築道具의 例

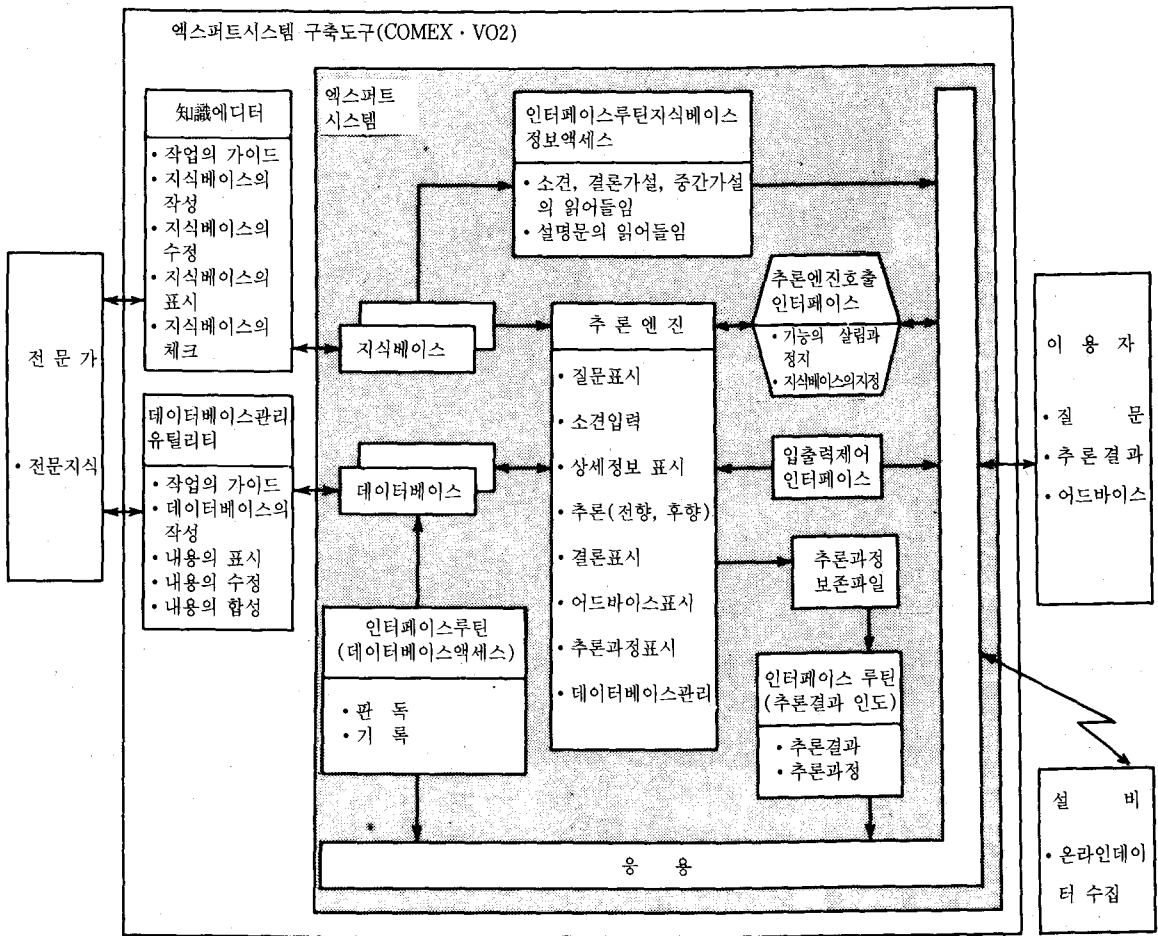
ES 構築道具를 이해하기 위하여 日本에서 市販되고 있는 汎用 ES 구축도구 중 COMEX를 事例로서 소개한다.

미국 미조리대학의 醫學部에서는 1979년에 컴퓨터에 의한 류머티스診斷이 시작되었고 RHEUM/AI, MICRORHEUM이라는 2가지 ES를 개발하였다. COMEX(Compact Knowledge Based Expert System)은 實證시스템에 의한 경험을 기본으로 한 것이며 日本東京電氣大學에서 개발한 것이다.

a. 構築道具의 構造 : COMEX는 그림 4.11과 같이 主要素로서 「知識에디터」와 「推論엔진」으로 구성되어 있고 다른 것보다 진보된 ES 구축을 위한 「서브루틴」이 있는데 이것은 퍼스널컴퓨터상에서 가동되어 사용되고 있다.

知識에디터의 機能은 知識베이스를 작성해가는 순서의 가이드·지식베이스의 작성·표시·수정·체크 및 보존 등이며 전문가는 知識에디터와 대화하면서 자신의 지식을 정리하여 지식베이스를 구축해둔다.

推論엔진의 기능은 이용자나 데이터베이스의 비교와 해답의 記入 및 記入된 해답에 의한 推論과 確信의 세기를 더한 추론결과와 표시 및 결과에 대한 어드바이스의 표시, 추론과정의 설명 그리고 데이터베이스의 관리 등이다.



<그림 4.11> 범용 ES구축도구의 지식구조사례

또한 기타 소프트웨어와 협조해서 대규모 지식 베이스나 On-Line 시스템에 대응하기 위한 「서비스 루틴」이 준비되어 있다. 그리고 ES는 그래픽이나 음성 등 이용자에 의해서 자연스럽게 인터페이스를 사용한다든지 기존의 소프트웨어를 유효적절하게 이용함으로써 더욱 실용화된다.

b. 構築道具의 知識構造 : 그림 4.12는 COMEX의 知識構造모델로서 最下層은 所見으로서 數値데이터의 事實과 非數値데이터의 특징 등이 입력 가능하다.

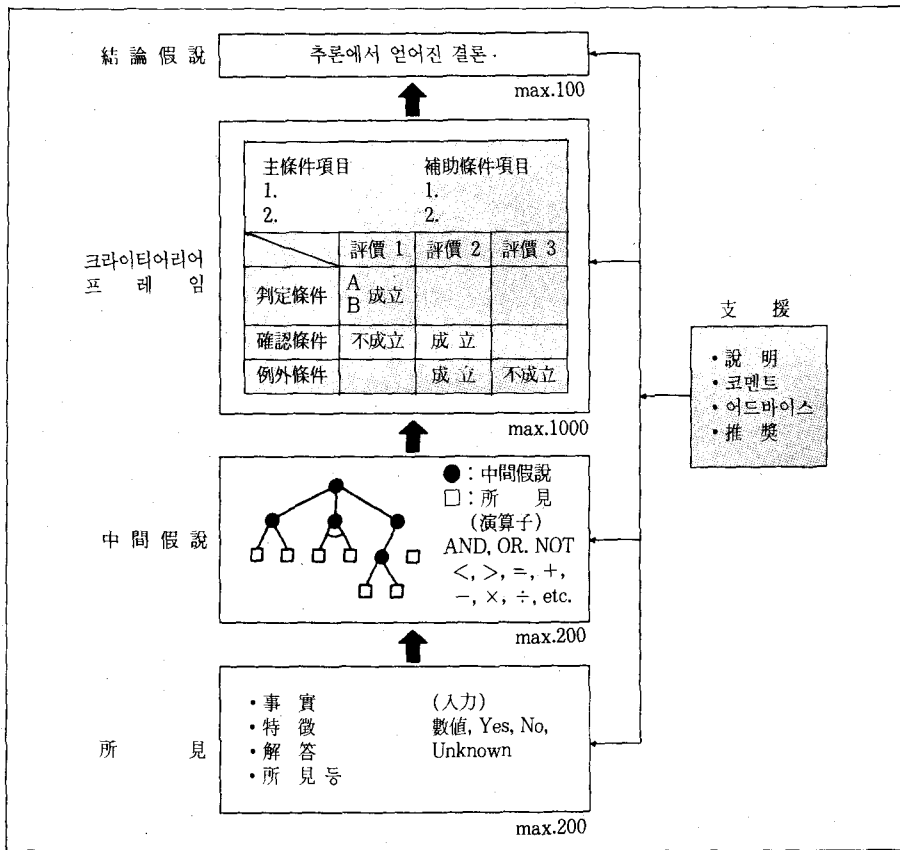
數値所見은 中間假說로서 演算子를 사용하고 Yes · No · Unknown의 3레벨을 판정하여 크라이티어리어 프레임의 條件項目으로 한다.

역시 所見値에 따라서 상식적으로 판단할 수 있

는 기타 所見에 대하여 쓸데없는 질문을 회피하기 위하여 「질문제어규칙」이 준비되어 있으며 또한 별개의 소견에서 새로운 소견이 창조되는 경우에는 「연산처리규칙」이 이용되고 있다.

다음 층에는 AND/OR木이나 演算子로서 표현되는 중간적 사실로서의 中間假說이 있으며 크라이티어리어 프레임의 조건항목으로서 유용되고 있다.

크라이티어리어 프레임(Criteria Frame)層은 結論假說마다 決定論理가 定義되며 判定條件-確認條件-例外條件의 형식으로 표시되는 표준틀만을 취하여 일종의 知識모델化를 수행한다. 이 층에서는 각 결론가설에 대해서 3단계(평가 1~3)와 가설에 해당하지 않는 경우의 1단계로서 구성되어 있다. 또한 COMEX의 開發言語는 FORTRAN이



<그림 4.12> 범용 ES구축도구의 지식구조사례

지만 MS-DOS 환경하에서는 對話形式으로 조작 된다.

多重階層化된 知識베이스에 대해서는 推論엔진部를 서브틴으로 사용하며 각 知識베이스에 대응한 데이터베이스의 운용도 가능하다. 이것은 知識의 分割階層化에 의해서 지식전체의 크기 제약은 없애는 것과 같게 된다.

3. 油中가스分析에 의한 變壓器自動診斷 ES

a. 概要 : 이 ES는 油中가스 自動分析裝置와 汎用 ES 구축도구(COMEX)에 의하여 變壓기의 異常을 진단하는 시스템으로서 설비진단 ES의 참고 사례로서 소개한다.

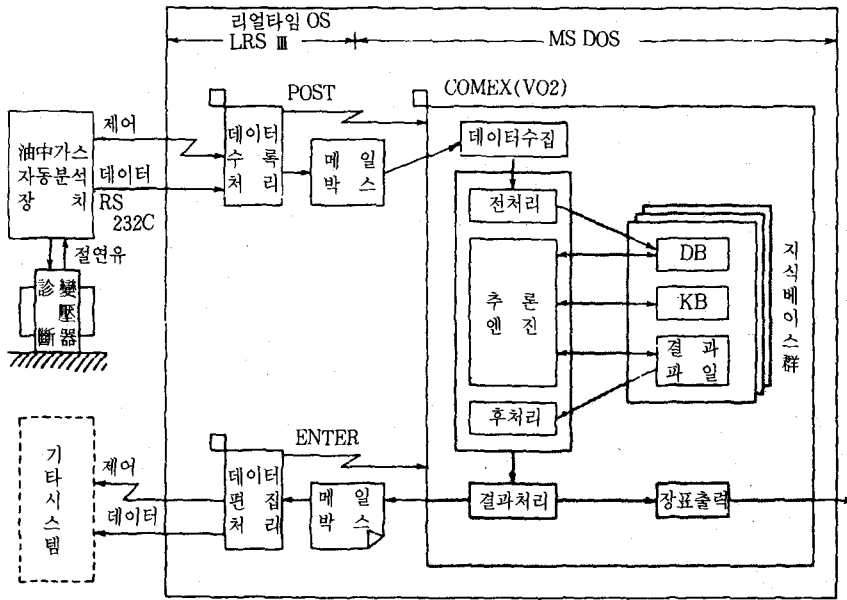
시스템은 變壓기내부의 절연유 중에 용해된 炭化水素系 가스량과 成分을 자동분석장치에 의하여 On-Line으로 수집하고 이 데이터에 의하여 變壓기 내부의 異常有無나 그 종류 및 장소 등을 自動

診斷하는 On-Line의 엑스퍼트시스템이다.

b. 시스템의 구성과 기능 : 그림 4.13은 시스템의 구성과 처리개요를 나타낸다. 장치는 크게 나누어 油中가스 自動分析裝置와 퍼스널컴퓨터로 구성되어 있고 RS 232 C의 인터페이스로서 접속되어 있다.

油中가스자동분석장치는 變압기로부터 절연유를 채취하고 油中가스의 추출과 분석을 단시간에 행한다. 퍼스널컴퓨터는 리얼타임 멀티타스크 OS (LRS-Ⅲ)와 汎用 OS(MS-DOS)의 2가지 OS로 운용된다.

LRS-Ⅲ 配下의 데이터수집 타스크는 가스분석 데이터를 油中가스 자동분석장치로부터 수집한다. 全 데이터의 수집이 종료된 시점에서 MS-DOS配下의 診斷處理타스크가 起動(POST)되고 코드분류된 분석데이터는 COMEX의 「데이터베이스」에



<그림 4.13> 변압기 자동진단 ES의 구성

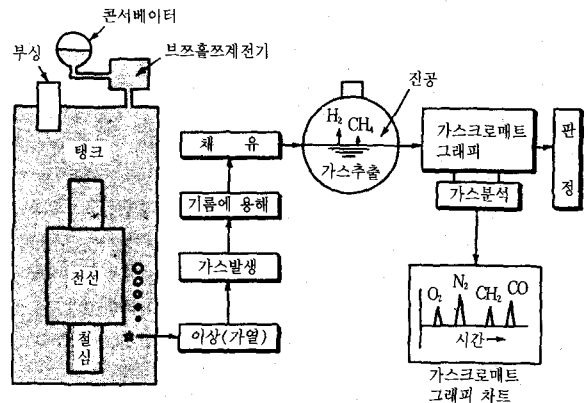
기입된다.

다음에 호출된 「推論엔진」에 의해서 분석데이터는 해당되는 과거의 데이터와 함께 추론이 실행되며 결론은 「결과파일」에 격납된다. 이 결과는 통상 프린터로 출력되거나 기타 시스템으로 傳送되는 것도 가능하다.

c. 油中가스分析에 의한 變壓器의 診斷技術: 그림 4.14는 변압기의 油中가스分析의 원리를 나타내었다. 油入變壓器의 내부에서 절연과피나 국부 가열로서 발열현상이 발생하면 發熱源이 접촉되어 있는 절연유나 절연지 등의 절연재료는 열영향을 받아 分解反應을 일으키고 炭化水素系가스를 발생한다. 이들 가스의 대부분은 절연유중에 용해하며 對流에 의해서 변압기전체로 확산된다.

따라서 변압기에서 채취한 절연유중의 가스를 抽出하고 이로부터 가스량이나 가스組成을 분석함으로써 변압기내부 異常의 有無나 程度를 예측할 수 있다. 이러한 진단방법은 변압기를 정지시키지 않고 미소한 異常狀態를 早期에 檢출할 수 있으므로 油入變壓器의 整備管理에 有効한 方法으로 채용되고 있다.

(1) 油中가스分析方法과 判定基準: 油中가스分



<그림 4.14> 변압기 유중가스분석의 원리

析에 의한 異常診斷은 절연유를 채취해서 트리클리방식이나 테프라폼프방식 등에 의해서 油中에 溶解되어 있는 가스를 抽出하고 분석하는 절차를 취한다.

抽出가스 분석에는 가스크로메트그래프分析放置가 사용되며 일반적으로는 水素(H₂), 메탄(CH₄), 일산화탄소(Co), 이산화탄소(CO₂), 에틸렌(C₂H₄), 에탄(C₂H₆), 아세틸렌(C₂H₂) 등을 對象가스로 분석한다.

분석결과는 가스량을 油와 가스의 體積比로 나타내며 각 성분가스량과 可燃性가스總量 및 증가

량으로부터 要注意와 異常레벨을 판정하는 방법이 있다.

(2) 分析結果로부터의 診斷: 油中가스분석의 결과로부터 異常의 종류, 장소, 정도 및 緊急性を 판단하기 위하여는 3가지의 有效한 診斷方法이 있으며 전문가는 이것들을 併用하여 總合診斷을 행한다.

(a) 가스패턴에 의한 진단: 형측에 성분가스를 종축에 組成比를 취하여 패턴圖들 그리고 이 形狀에 의해서 異常한 내용을 진단하는 기술이다. 이 방법에는 가스패턴의 經時變化에 의해서 異常의 종류나 규모의 변화 및 大體的인 部位의 추정도 가능하게 된다.

(b) 가스組成比에 의한 진단: 異常現象의 내용을 특정 성분가스량의 비로부터 판정하는 것이다. 이 방법은 5종류의 검출가스로부터 3종류의 가스組成比를 算出하고 이 값을 코드분류해서 그 組合으로부터 異常의 내용을 추정하는 방법이다. 이 진단으로는 과열의 정도(아크방전, 부분방전)를 알 수 있으며 또한 組成比의 변화를 조사함으로써 異常現象의 상태변화를 파악할 수 있다.

(c) 특정가스에 의한 진단: 고체절연물이 異常하게 가열되면 분해가스로서 일산화탄소가스나 이산화탄소가스를 발생하거나 油中 아크 등에 의해서 절연유가 고온으로 분해되면 아세틸렌 등의 특징적인 가스가 발생하게 된다. 따라서 이들의 특징적인 가스에 착안하여 진단함으로써 精度가 높은 판정을 할 수 있다.

(3) 절연유의 진단: 절연유의 劣化程度에 관계되는 특정항목은 水分, 절연과피전압, 체적저항률, 全酸價, 색, 냄새 등이 있으며 판정기준에 따라서 異常程度의 대응책을 알 수 있다. 이들의 시험데이터는 個別的인 시험장치에 의하여 측정되므로 Off-Line으로 키보드로 입력하여 진단할 수 있다.

d. 知識베이스의 構築

(1) 所見의 定義: 油入變壓器의 진단에 필요한 所見項目은 知識모델구축의 부담을 경감시키고 이용자의 편의를 고려하여 그림 4.15 와 같이 3가지 항목의 그룹으로 분할하였고 총합계 15가지 항목

의 所見數로 한 것이다. 이중에서 加熱性 가스總량과 그 增加量은 演算處理規則을 이용해서 COMEX 내부에서 계산한 것이다.

油中가스분석의 所見數는 거의 대부분이 시험결

所見 Group : FG1	정격그룹
VOL (V)	정격전압(kV)
MVA (V)	정격용량(MVA)
Group : FG2	유중가스분석그룹
H2 (V)	수소가스(ppm)
CH4 (V)	메탄가스(ppm)
CO (V)	일산화탄소(ppm)
CO2 (V)	탄산가스(ppm)
C2H4 (V)	에틸렌가스(ppm)
C2H6 (V)	에탄가스(ppm)
C2H2 (V)	아세틸렌가스(ppm)
TCG (V)	가연성가스총량(ppm)
TCGZ (V)	전회의 가연성가스 총량(ppm)
KEIKA (V)	전회분석일로부터의 경과일수
TCGU (V)	가연성가스총량의 증가량 (ppm/Year)
Group : FG3	절연유의 특성그룹
WOT (V)	수분(ppm)
BDV (V)	절연과피전압(kV)
VOR (V)	체적저항률(*E12 Ω cm)
KOH (V)	全酸價(1/100mg KOH/g)
CONT (Y)	절연유에 혼탁한 것이 있음
SUML (Y)	절연유에 다른 약취가 있음

<그림 4.15> 所見의 定義事例

結論假說	
Level : HYPL1	유중가스분석에 의한 진단
Group : HL1 G1	
GASL0	유중가스의 판정(C: 正常)
GASL1	유중가스의 판정: 500kV (A: 異常 B: 要注意 C: 情報不足)
GASL2	유중가스의 판정: <=300kV>10MVA (A: 異常 B: 要注意 C: 情報不足)
GASL3	유중가스의 판정: <=300kV<=10MVA (A: 異常 B: 要注意 C: 情報不足)
Level : HYPL2	가스패턴에 의한 진단
Group : HL2 G1	
PTH2	H2주도형: 부분방전이나 아크방전의 존재 (C: 有)
PTC2 H2 C2H2	주도형: 아크방전의 존재(C: 有)
PTCH4	CH4주도형: 접촉불량이나 누설전류에 의한 과열부의 존재(C: 有)
PTC2 H4 C2H4	주도형: 접촉불량이나 누설전류에 의한 과열부의 존재(C: 有)

<그림 4.16> 결론가설의 定義事例

유증가스의 판정 : 異常

1. 유증가스분석 추적조사
 - (1) 재측정의 인터벌
1개월 이내에 재측정
 - (2) 재측정 이후의 처리
 - a. 전회측정치에 대한 증가의 경향이 현저한 경우 : 종합진단으로 실시
 - b. 증가가 완만한 경우 : 3개월 인터벌로서 추적조사
 - c. 기타의 경우 : 6개월 인터벌로서 추적조사

<그림 4.17> 결론가설의 텍스트 사례

과에 의한 數值所見이었으나 절연유특성그룹 중에는 非數值所見이 있으며 오프라인에서의 推論實行에서는 Yes·No·Unknown으로 입력된다.

(2) 結論假說의 定義와 어드바이스텍스트의 作成 : 추론에 의해서 결론의 후보가 되는 結論假說은 그 종류마다 분할하여 그림 4.16의 事例와 같이 26항목으로 정의되어 있다.

油中가스분석그룹에는 각 분석가스량에 의해서 결론가설을 異常, 要注意, 定常으로 정의하고 推論에 필요한 所見을 얻을 수 없는 경우에는 情報不足이 된다. 그리고, 가스패턴이나 현상추정·절연유진단·고체절연물 소손의 가능성에 대해서는 결론의 종류에 따라서 각각 평가레벨마다의 제목을 설정하고 있다. 각 결론가설과 그 평가레벨에 대한 상세한 어드바이스 텍스트는 지식모델중에 구축되어 있으며 그림 4.17은 유증가스의 판정에 이상이 있는 경우의 대책추장 텍스트의 사례를 나타낸 것이다.

(3) 中間假說의 定義 : 중간가설은 프로덕션규칙을 意圖하고 所見項目이나 중간가설상호를 AND/OR木이나 演算子를 이용하여 再定義함으로써 크라이티어리어 프레임의 條件項目으로 한 것이다.

크라이티어리어 프레임의 조건항목은 數值를 취급하지 않으므로 所見의 數值데이터는 중간가설로서 比較演算子 등을 이용하여 定義된 조건항목으로 되어 있다.

그림 4.18은 그룹별로 정의된 中間假說 132項目中的 일부이다. 예를 들면 可燃性가스總量(TCG)은 $400 \leq TCG < 800$ 과 같은 所見值에 의해서 판정

중간가설

Group : VOLG	정격 그룹(전압)
VOLH	$VOL > = 500(kV)$
	논리식 : $VOL > = 500.00$
Group : TCGG	가연성가스총량 그룹
TCGA	$400 \leq TCG < 800(\mu m)$
	논리식 : $TCG > = 400.00$ and $TCG < 800.00$
Group : H2 GP	H2가스패턴 그룹
PH2 A	H2주도형(A)
	논리식 : $H2 > CH4$ and $H2 > C2H2$ and $CH4 > C2H4$ and $C2H2 > C2H4$ and $C2H4 > C2H6$

<그림 4.18> 중간가설의 定義事例

레벨을 결정하고 TCGA로서 추론에 사용한다.

(4) 크라이티어리어 프레임의 定義 : 그림 4.19는 전압 300kV 이하에서 용량 10MVA 이하의 異常判定 크라이티어리어 프레임이다. 主條件項目(Major Elements)과 補助條件項目(Minor Elements)은 異常을 판정하는데 필요조건항목으로서 中間假說이나 所見項目으로 구성되어 있다.

이 예에서 評價레벨 A(異常)를 판단하기 위해서는 主조건항목의 전압이 300kV 이하(VOLL), 용량이 10MVA 이하(MVAL)로서 기타 한 개의 主조건항목이 필요하도록 정의되어 있다.

e. 推論의 實行 : 構築된 知識모델을 이용해서 추론한 사례를 그림 4.20에 나타내었다. 對象機는 33kV, 10MVA의 油入變壓器로서 異常을 검출한 總合진단 사례이다. 소견항목은 유증가스분석데이터와 절연유의 특성시험데이터로서 절연유의 탁함(濁)과 이상한 냄새 이외의 數值所見은 전부 알려진 것이다.

얼어진 결론은, 油中 가스분석에 의한 진단결과는 異常이 있으며 고체절연의 燒損을 동반하는 고온의 加熱現象이 발생한다고 推定되어 있다. 또한 원인으로서는 C_2H_4 主導形이므로 접촉불량이나 누설전류에 의한 過熱部에 의혹이 있다. 그러나 절연유는 정상적인 특성을 유지하고 있다고 판단된다.

유증가스의 판정에 있어서 異常이라고 판정된 本機에 대한 어드바이스는 그림 4.17의 어드바이스 텍스트에 나타난 바와 같이 추적조사를 하고 그 결과를 보아 總合診斷을 실시하며 필요에 따라서

크라이티어리어 GASL3 : 유증가스의 판정 : <=300kV<=10MVA

(A : 이상 B : 요주의 C : 정보부족)

[Major Elements]

1. VOLL : VOL<=300(kV)
2. MVAL : MVA<=10(MVA)
3. TCGF : TCG>=2000(ppm)
4. H2D : H2>=800(ppm)
5. CH4E : CH4>=400(ppm)
6. C2H6D : C2H6>=300(ppm)
7. C2H4E : C2H4>=600(ppm)
8. COD : CO>=600(ppm)
9. C2H2B : C2H2>10(ppm)
10. TCGUF : TCGU>=1200(ppm/year)

[Minor Elements]

1. TCGC : 1000<=TCG<2000(ppm)
2. H2B : 400<=H2<800(ppm)
3. CH4C : 200<=CH4<400(ppm)
4. C2H6B : 150<=C2H6<300(ppm)
5. C2H4C : 300<=C2H4<600(ppm)
6. COB : 300<=CO<600(ppm)
7. TCGUC : 350<=TCGU<1200(ppm/year)
8. C2H2A : 1<=C2H2<=10(ppm)

[판정기준]

A	B	C
A. 3 major+2 of 1 2 0 minor+	A. 2 major+2 of 1 2 1 minor+	A. 2 major+2 of 1 2 0 minor+

[확인항목]

A	B	C
A. No requirements	A. No requirements	A. No requirements

[제외항목]

A	B	C
None	None	GASL0 : 유증가스의 판정 (C : 정상)

<그림 4.19> 크라이티어리어 프레임 정의사례

<표 4.6> 진단결과와의 비교사례

事 例	診 斷 項 目					總 合 診 斷	點 檢 結 果
	가스량	가스패턴	가스조성비	絶緣油	固體絶緣物		
33kV 3φ 10MVA 事例 I	專門家の 診斷	異常	C ₂ H ₄ 主導形	高溫의 過熱異常	正 常	燒損의 可能性 大	裸導電部の 접촉불량에 의 한 과열이상 접촉불량이나 누설전류에 의한 과열이상으로 고체절 연물 소손의 가능성이 있다.
	COMEX 의 診斷	異常	C ₂ H ₄ 主導形	高溫의 過熱異常	正 常	燒損의 可能性 大	
154kV 3φ 154MVA 事例 II	專門家の 診斷	異常	C ₂ H ₄ 主導形	高溫의 過熱異常	-	燒損의 可能性 少	코일도체 등의 이상은 없고 라금속구조물의 과열이상 누설전류에 의한 국 부 과열
	COMEX 의 診斷	異常	C ₂ H ₄ 主導形	高溫의 過熱異常	-	燒損의 可能性 少	

內部點檢이나 修理가 推獎된다.

또한 결론에 이르는 추론과정의 설명에는 판정의 크라이티어리어 프레임을 사용하고 해당箇所에는 마크를 하였다. 이 기능은 ES를 이용하는 非專門家뿐만 아니고 전문가가 자기의 知識을 평가해서 보다 精度가 높은 지식모델을 개량하는 경우에도 유효하다.

<표 4.7> 판정결과와의 비교

判定の比較		ES의 判定			計
		異常	要注意	正 常	
전문가의 판정	異常	44	2	0	46
	要注意	6	84	6	96
	正 常	0	10	793	803
계		50	96	799	945

유입변압기 이상진단

유중가스분석데이터와 절연유의 특성데이터를 기초로 해서 COMEX에 의한 엑스퍼트시스템으로 변압기의 내부이상의 유무와 그 내용을 진단한다.

NO.2 코드명 : DEMO-CASE1*****760825
 ZHDPSXM : 電氣協同研究 第36卷 第1號 事例 1 정격 : 33/6.6kV 10MVA

정 격 : 전압 33.00kV, 용량 : 10.00MVA
 분석일 :

유중가스분석데이터		금회분석치	전회분석치
수	소 (ppm)	H2	2700 (860)
메	탄 (ppm)	CH4	3760 (1670)
일 산 화 탄 소	(ppm)	CO	400 (10)
이 산 화 탄 소	(ppm)	CO2	1800 (690)
에 틸 렌	(ppm)	C2H4	4720 (2050)
에 탄	(ppm)	C2H6	790 (30)
아 세 틸 렌	(ppm)	C2H2	80 (40)
가 연 성 가 스 총 량	(ppm)	TCG	12450 (4660)
가 연 성 가 스 의 증 가 량	(ppm/Year)	TCGU	76847 (U)

절연유의 특성데이터			
수	분 (ppm)	WOT	24.60 (U)
절 연 파 괴 전 압	(kV)	BDV	56.00 (U)
체 적 저 항 륜	(*E12 Ω cm)	VOR	35.00 (U)
전 연 산 가	(1/100mg KOH/g)	KOH	2.50 (U)
절연유에 탁도가 있음		CONT	U (U)
절연유에 냄새가 있음		SUML	U (U)

*******진단결과*******

- | | | |
|-----------|--|-----|
| 1) GASL3 | 유중가스의 판정 : <=300kV<=10MVA
(A : 異常 B : 要注意 C : 情報不足) | → A |
| 2) OHT | 과열현상(A : 高溫 B : 中溫 C : 低溫) | → A |
| 3) INSI | 고체절연물의 소손(B : 가능성 크다 C : 가능성 적다) | → B |
| 4) PTC2H4 | C2H4 주도형 : 접촉불량이나 누설전류에 의한 과열부의 존재(C : 有) | → C |
| 5) OILO | 절연유의 판정(C : 正常) | → C |

<그림 4.20> 추론의 실행사례

f. 추론결과의 검토 : 표 4.6 은 진단결과의 비교이며, 표 4.7 은 개별진단을 행한 實例(945예)를 나타낸 것으로서 전문가의 결론과 잘 일치함을 알 수 있다. 事例中에서 전문가가 要注意 또는 異常 診斷이라고 한 것은 14%이고 나머지는 正常이다.

또한 要注意·異常이라고 진단한 事例만의 一致 率은 84%이고 정상울 포함한 全事例의 일치률은 98%였다.

이 엑스퍼트시스템(ES)은 원인에 대해서 추론하

는 것이 主體이며 각각 결론에 대해서는 어드바이 스탭스트에 의해서 대책을 推奨하게 된다. 따라서 대책의 긴급도나 그 방법을 포함하여 종합판정할 수 있는 시스템의 확립이 앞으로의 과제가 될 것이다. 또한 本書에서는 ES를 특정전문가의 일치율에서 평가하였으나 재차 고도의 엑스퍼트시스템으로 하기 위하여는 實機와의 비교검증사례를 조합하여 知識베이스를 개량하는 것이 매우 중요하다.

(다음호에 계속)