

전력계통 신뢰도 제어에의 전문가 시스템 응용 및 전망

문 영 현

(연세대 공대 전기공학과 부교수)

1. 개 요

전력계통의 신뢰도 제어에서는 계통운전에 대한 신뢰도 평가 및 안전대책 수립을 위한 제반 조치를 다루고 있으며 최근 이 분야에 대한 전문가 시스템 응용에 관한 연구가 활발히 진행되고 있으며 현재 부분적 실용화 사례가 발표되고 있고 멀지않아 전문가 시스템의 실계통 적용이 이루어질 것으로 예상된다.

전력계통의 운전 상태는 통상 정상상태, 경계상태, 비상상태, 복구상태로 구분된다. 비상상태에서는 고장 과급방지를 위한 긴급조치 즉 고장점제거 및 과부하 해소, 계통동요방지를 위한 대책이 필요하다. 경계상태에서는 계통의 위험요소를 파악하여 사고를 미연에 방지할 수 있는 예방대책을 세우는 것으로 예를 들면 태풍이 지나가는 지역의 발전량을 감소시키고 송전선로의 조류를 낮게 유지함으로써 선로사고가 발생할 경우에 예상되는 계통동요를 미연에 방지하는 것이다. 한편 복구사태는 사고에 의하여 상실된 계통의 일부구간의 기능을 회복시키는 것으로 선로복구, 발전기 복구 등을 들 수 있으며 정상상태에서는 계통신뢰도 제어를 위해서는 일상적인 시나리오에 따라 위험요소 존재여부를 감시한다.

계통신뢰도 제어를 위해서는 이상의 각 상태에 대하여 발생가능성이 있는 여러가지의 가상사고를 고려한 계통신뢰도 평가가 수행되어야 하며 계통신뢰도 평가는 낙뢰등에 의한 계통의 돌발사고가 발생할 경

우에도 계통의 안전운전이 유지될 수 있는지를 평가하는 것이며 돌발사고의 종류는 발전기 탈락, 각종 선로사고, 모선사고 등으로 사고의 경우 수가 대단히 많아 상정사고의 선택, 해석방법의 선정, 해석결과와 분석등에 계통운전원의 경험지식이 크게 요구되는 분야이다.

전문가 시스템은 지식개념에 의한 병렬모듈 프로그램으로서 지식을 문자정보로 표시하고 이 문자정보에 의하여 추론을 수행하는 시스템이다. 전문가 시스템은 종래의 절차순 프로그램 기법과는 달리 지식베이스를 수용할 수 있는 무순서 모듈 프로그램으로써 새로운 지식에 대한 정보입력이 간편하며(순서를 고려할 필요가 없으므로) 전문가의 경험지식의 활용이 편리하다. 따라서 많은 전문가 시스템이 특수영역의 문제를 경험적으로 해결하기 위하여 개발되고 있으며 이러한 전문가 시스템은 개발이 어렵다는 문제점이 있으나 일단 개발되면 지식의 보존 전수 및 전문지식의 문서화 등이 용이한 장점이 있다. 뿐만아니라 전문가 시스템은 추론결과에 대한 경위를 설명할 수 있는 기능을 갖추고 있으므로 전문가 시스템에 의한 운전요원 보조 및 훈련이 가능하다.

본고에서는 계통신뢰도 제어를 위한 전문가 시스템응용을 온 라인 계통감시, 상정사고 해석에 의한 정적안전성 평가, 과도안정도 해석에 의한 계통의 동적 안전성평가 및 전압안정도 분야 등으로 나누어 기술하고 전문가 시스템의 개발현황과 문제점 그리고 전망에 대하여 소개하고자 한다.

2. 전문가 시스템의 신뢰도 제어에의 적용을 위한 연구사례

인공지능의 전력계통에 대한 응용은 1970년대로 거슬러 올라가며 전력계통신뢰도 평가를 위한 형태인식(Pattern Recognition)에 관한 논문[2,3]이 수편 발표된 바 있으며 인공지능의 보다 구체적 응용 방법을 제시한 연구는 80년대에 접어들면서 Lisp, Prolog등의 전문가 시스템용 Language가 보급된 이후이다. 초창기 연구는 간단한 경험율을 처리할 수 있는 전문가 시스템으로 지능 경보시스템[8,23], 계통의 정전구간 파악 및 정전복구[1,6]계통고장 진단 등을 중심으로 한 논문이 많이 발표되었으며 전문가 시스템의 추론 기법의 발달과 더불어 점차 복잡한 분야에의 적용이 시도되고 있는 바 최근에는 전압-무효전력 제어[15], 계통신뢰도 평가[29,30], 안정도 해석[21,22]등의 신뢰도 제어분야에 적용이 활발히 연구되고 있다.

신뢰도 제어분야에 전문가 시스템의 적용을 처음 시도한 연구로는 일본 미쓰비시의 Sakaguchi와 Matsumoto의 계통복구를 위한 지식베이스 시스템으로 사고구간 판정 및 복구 방안을 경험율에 의거 탐색하는 방법을 제시하였고 규칙베이스에의 규칙추가, 수정 및 설명기능을 고찰한 논문[1]을 발표하였다. 한편 전문가 시스템과는 접근방법이 유사하나 실현방법을 달리하는 것으로 형태인식(Patten Recognition)에 의한 신뢰도제어에 관한 논문[3]이 발표된 바 있으며 이들 논문에서는 경험지식을 사용하는 것은 전문가 시스템과 같으나 그 실현방법으로 기존의 절차적 프로그램기법을 사용한 점이 다르며 그 연구결과는 전문가 시스템에도 적용될 수 있는 것으로 생각된다. 전문가 연구가 1980년대 중반 크게 확산됨에 따라 전력계통운용을 위한 특수목적 전문가 시스템이 많이 개발되었으나 신뢰도 제어에의 적용은 문제의 복잡성 때문에 직접적인 연구는 비교적 적었고 이와 상관성이 있는 연구로 지능경보시스템을 위한 메시지처리[5], 계통문제분석을 위한 지능 프로그램개발[7], 조류계산엔진 개발, 전압제어를 전문가시스템 개발[14] 사고구간 차단 및 정전지역 평가[6,9] 등에 관한 연구논문이 발표되었으며 이러한 연구를 통하여 추론엔진과 지식베이스의 분리, 지식의 추가 및 수정, 설명 기능의 강화 등을 실현

함으로써 특수목적 전문가 시스템 구성 도구(tool), 즉 shell이 개발되었고 Carnegie Mellon Univ[13]의 D2, 일본 미쓰비시사의 조류계산엔진(Load Flow Engine)[4] 및 Washington Univ.의 CRAFT[11]등이 그 결과이다. shell의 특징은 특수문제 해결을 위한 전문가 시스템의 골격을 갖추고 있으며 사용자가 적용하고자 하는 규칙과 계통데이터만 입력시키면 전문가 시스템이 구성되므로 전문가 시스템 개발에서 노력을 크게 절감 할 수 있다.

상정사고 해석분야는 전문가 시스템을 효과적으로 응용할 수 있는 분야라고 생각되나 아직 문헌상 발표논문은 많지 않으며 중국의 청화대에서 발표한 논문[29]의 내용이 매우 인상적이다. 이 논문에서는 위험한 상정사고(Critical Contingency) 선정을 위하여 Fussy이론을 도입하였고 발전기 변압기의 사고확률과 선로낙뢰확률을 일기와 관련시킴으로서 상정사고 선택순위를 결정할 수 있는 전문가 시스템을 제시하고 있으며 실용적인 면에서 이용 가치가 높다고 보여진다. 한편 필자들은 상정사고의 경험적 해석에 비례성에 입각한 경험율을 도입하였으며 경험율에 의한 판단이 불가능한 경우는 전산프로그램 팩키지와 연계하여 수치해석방법을 적용하는 방안이 지난해 한미 Workshop에 발표한 바 있으며[30] 참석자들로부터 호평을 받은 바 있다.

신뢰도 제어분야에 전문가 시스템을 직접 적용한 연구는 80년 후반에 가서야 본격적으로 시작되었으며 상정사고 해석 분야와 안정도 해석 분야로 나눌 수 있다. 과도 안정도 해석은 계통운전상 필수적으로 고려해야 할 사항이나 기존 전산 팩키지를 사용하면 매우 긴 계산시간이 소요되므로 온라인 적용이 불가능하다. 이에 대한 대안으로 인간 전문가의 경험지식을 컴퓨터에 옮겨 빠른 시간내의 경험적 판단을 얻고자 전문가 시스템의 응용이 연구되고 있으며 Van Cutsem과 Ribbens-Pavella는 안정도 해석상 주요변수인 전압과 출력을 의한 과도 안정도 결정트리(Decision Tree)를 도입하고 경험지식과 자기학습기능을 통하여 결정트리를 자동구성되게 함으로써 결정트리에 입각한 경험적 안정도 판정이 가능한 초보적 전문가 시스템을 제시하였다[22].

동경전력과 GE(General Electric)의 공동연구로 과도안정도 전문가 시스템을 개발하였으며[21] 그들은 안정도 해석을 경험율에 의한 판정법과 기존 전

산프로그램의 수치 시뮬레이션에 의한 판정법을 병용함으로써 경험율에 의한 판단이 불가능할 경우는 기존 전산패키지를 사용함으로써 항상 정확한 안정도 판정이 가능하도록 하였다. 여기서 위험한 상정사고(Critical Contingency) 선정을 위한 경험률로는 발전기 부하각에 의하여 발전소 사고 경우를 선정하고 서어지임피던스 부하율을 사용함으로써 선로사고를 선정하였다. 그리고 안정도 해석 경험률은 Lyapunov 직접법에 의한 안정도 여유분(Safety margin)을 사용함으로써 고속안정도 스크리닝이 가능한 경험율을 유도하여 사용한 상당히 발전된 면모를 보여주고 있으며 운전원 보조 또는 훈련용으로 현장 적용이 가능한 실용화 단계의 것으로 보인다.

3. 신뢰도 제어 전문가 시스템 구성

전력계통의 신뢰도제어는 신뢰도 평가(Security Assessment)와 안정도제어(Security Control)로 크게 분류할 수 있으며 신뢰도 평가 방법에는 계통실제 상태의 계통 안전도를 감시하는 계통감시 분야, 정적 운전 상태에 계통구성의 견고성을 평가하는 안정도 해석 분야 등으로 나누어지며 안전도 제어 방법에는 예방제어, 긴급제어, 복구제어 등으로 나눌 수 있다.

계통의 신뢰도 제어는 이상과 같이 매우 광범위한 문제를 다루고 있기 때문에 여기서는 계통 신뢰도 평가를 중심으로한 전문가 시스템의 개괄적 구성을 소개한다.

전문가 시스템의 구성은 일반적인 전문가 시스템과 마찬가지로 지식베이스 추론엔진과 인간-기계 연계를 위한 주변장치들로 구성되어 있으며 개괄적 구성을 그림으로 표시하면 그림1과 같다.

그림1의 신뢰도 전문가 시스템의 특징은 계통감시, 상정사고 해석, 안정도 해석 및 계통 복구등의 목적을 가지고 있는 것이며 각 목적에 해당하는 작업은 타 지식 베이스와는 거의 독립적으로 수행될 수 있다. 따라서 각각의 작업목적에 위한 규칙 베이스는 독립적으로 구성하여 작업의 선택은 추론 엔진을 통하여 사용자가 결정할 수 있도록 한다. 한편 데이터 베이스는 어느 작업에서나 동일한 계통 베이스를 사용하므로 공동으로 사용하도록 하며 계통 상태 데이터 베이스는 계통의 EMS(Energy Management System)의 통신망을 이용한 계통 온라인 데이터를 직접 이용한다. MMI(Man-Machine Interface)는 운전원과 전문가 시스템과 연결을 편리하게 하는 주변 장치로서 CRT를 사용한 전문가 시스템과의 질의응답이 가능하며 그래픽 기능을 보유하여 계통상태를 시각적으로 보여준다. 그리고 지식관리 시스템에서는 운전원이 규칙이나 데이터를 추가하거나 수정하고자 할 경우 추가 또는 수정되는 규칙과 기존의 타규칙과의 모순성, 중복성을 점검한다.

지식 관리 시스템에서는 이외에도 규칙 상호간의 배타성, 포함관계(Subsumption), 함축성 등을 점검하고 규칙 베이스 구조를 최적하게 관리함으로써 해의 탐색시간의 신뢰성과 효율성을 높일 수 있는 기능을 갖추고 있다.

4. 지식 베이스 구성과 현재 기술 수준

한편 전문가 시스템은 문자 정보처리에는 편리하나 복잡한 계산처리 능력이 없으므로 조류계산등과 같이 계산이 필요할 때는 기존 전산 프로그램 패키지의 지원을 받아야 하며 전문가 시스템에서 데이터 베이스를 사용하여 전산 프로그램 입력 데이터를 작성하여 전산 패키지 지원 시스템에 넘긴 후 그 계산 결과를 받아 분석한다.

신뢰도 전문가 시스템의 현재 기술 수준은 계통감시에 의한 정보처리분야를 제외한 타분야는 아직 초보적 단계라 할 수 있다. 계통감시에 의한 정보 처리분야는 계통 운전시 접수되는 수많은 message와

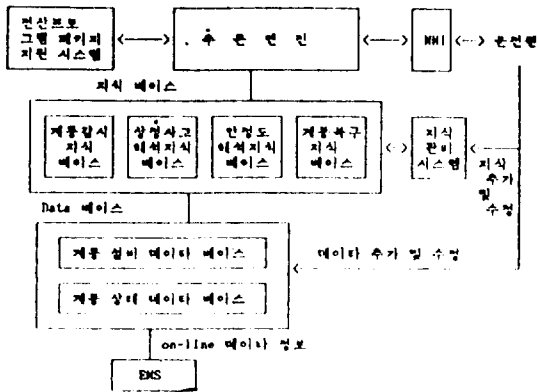


그림 1. 신뢰도 제어전문가 시스템의 구성

경보를 긴급 순위별로 분류하고 원인을 분석하여 운전원에게 통고하며 현재 실용화 단계까지 발전되어 있다. [5, 8, 23] 상정사고 해석에서는 조류계산 엔진을 사용하여 가상사고시의 선로과부하 등 문제점을 일괄 분석하여 사용자의 요구에 따라 분석결과를 보고할 수 있고 상정사고 순위 결정에 일기관계를 고려한 경험율을 적용하는 방안이 시도되고 있다. [29]

상정사고 해석 전문가 시스템구성에서 가장 핵심이 되는 분야는 전문가 시스템이 운전원과 같이 복잡한 계산없이 계통상태의 불안정 여부를 판단할 수 있는 경험율을 찾는 것이며 이러한 경험율로서 가상사고시 사고선로의 조류가 타선로에 근사적으로 비례 배분된다고 보는 비례배분율[30], 또는 사고 선로에 대한 타선로의 조류변화감도 계수를 사용한 경험적 조류 계산법, 간이 조류 계산법인 직류 조류 계산법등이 상정사고해석 경험율로 사용되고 있다. 상정사고 선택을 위한 우선순위결정 방안으로는 선로 부하율, 부근 선로와의 상대적 조류 크기, 태풍, 뇌우등의 기상조건에 따른 가상사고 발생확율을 복합적으로 고려한 우선순위 결정을 위한 경험율을 설정할 수 있다.

그러나, 이러한 경험율의 적용에는 항상 상당한 오차가 따르기 마련이며 경우에 따라서는 경험율의 적용이 불가능한 예외 경우도 존재한다. 따라서 경험율은 해석이론과 같이 절대적이 아니며 상황에 따라서 항상 수정 또는 보정이 필요하며 전문가 시스템의 자기학습 기능을 통하여 경험율의 자동적인 수정 보완이 가능하다.

안정도 해석분야의 경험율은 발전기 탈조 가능성을 고려할 때에도 1기 무한대 모션으로 간략화하여 근사적 안정도 해석을 행할 수 있으며 이때 근사계산을 위하여 사용되는 이론은 등면적 판정법(Equal Area Criterion)이며 고장제거시간(Fault clearing

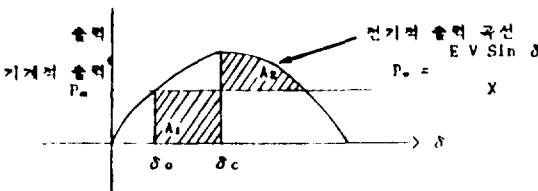


그림 2. 등면적 안정도 판정법

time)으로 부터 고장제거시의 발전기 부하각 δ_c 을 산출할 수 있으며 면적의 근사적 계산은 가장 가혹한 조건을 적용한다. 즉 고장중의 전기적 출력은 영으로 간주되고 계통계수의 영향은 무시한다. 여기서 비교되는 면적은 그림2의 A_1 과 A_2 가 된다.

그림2에서 A_2 가 A_1 보다 크다고 하면 발전기는 안정하다고 판정할 수 있다. 한편 Pavella등은 이보다 더 간단한 경험율에 의한 결정트리구성을 시도한 바 있으며 그들은 안정도의 주요 결정인자가 고장전 전기출력, 발전기 단자전압과 발전기 연결 모선 전압이며 운전자는 주로 이 수치에 의거 경험적 안정성 판정을 하고 있다는 점에 착안하여 이 세가지 인자에 의한 형태분류 방식을 사용하였다. 그들은 이 형태 분류의 문턱치(Threshold value)를 전문가 시스템의 자기학습기능을 통하여 조정할 수 있도록 하였으며, 전문가 시스템에 의한 안정도 판정은 즉시 이루어질 수 있으므로 온라인적용이 가능함을 보인다.

계통 전체에 대한 안정도 판정을 위한 경험율 추출을 위해서는 다소 다른 접근 방법을 택해야 한다. 계통에는 통상 많은 수의 발전기가 있으며 그중 대용량 발전기나 주요송전선로에 고장이 발생하여 Trip될 경우 계통내의 타발전기의 동요에 따른 계통 안전성을 고찰하는 것으로 Liapunov에너지 함수를 정의하고 이 에너지 값에 의거 전계통의 안전성을 판정 할 수 있다.

Liapunov안정도 해석방법은 이론은 명료하나 여자계통의 제어영향을 반영시키기 어려우므로 Liapunov에너지를 근사적으로 계산하는 방법이 시도되고있다. [26] 한편 Liapunov에너지를 보다 단순화 시킴으로서 계통파라미터와 연관시켜 패턴을 분류하는 방안[25]이 제시된 바 있으며 이 방법에서도 패턴 분류에 Fussy이론을 적용시킴으로써 전문가 시스템 지식 베이스화한 것이 특징이다.

계통 신뢰도 제어분야의 하나인 전압안정도 유지 문제는 비교적 최근에 발생한 문제로서 최근 많은 연구가 행해지고 있으나 전압 붕괴 메커니즘이 아직 명확히 규명되지 않았으며 대부분의 연구는 전압 불안정을 유발하는 불안정 운전점을 계산하는데 집중되고 있고 실제 전력회사에서의 전압제어는 운전점을 이 불안정 운전점과의 거리를 확보하므로써 전압 붕괴를 예방하는 예방 제어 단계에 머물러 있다. 이

분야에서도 불안전 운전점의 정확한 계산은 이론적으로 매우 복잡하므로 실무적인 관점에서는 근사적 불안전점을 경험적으로 설정하고 이점과 운전점의 거리를 확보함으로써 전압안정을 유지시킨다. 따라서 이 분야 역시 전문가 시스템 적용이 효과를 거둘 수 있는 분야로서 아직 문헌상 논문이 많이 발표되고 있지 않으나 캐나다 Ontario Hydro 등의 전력회사와 일본 와세다대 등에서 현재 연구가 활발히 진행되고 있다.

5. 연구과제 및 발전 전망

신뢰도 제어를 위한 전문가 시스템에서의 현재 연구과제로는 먼저 적절한 경험율의 도출과 지식 베이스의 관리가 되며 다음으로는 전문가 시스템의 해의 탐색의 효율성 제고와 신뢰성의 향상을 들 수 있다.

전문가 시스템은 인간 전문가의 지식을 활용하는 것이 그 목적이므로 인간전문가의 복잡한 경험식을 구체화하여 규칙으로 표현해야하며 효과적이고 실용적인 경험율의 추출이 각 분야마다 핵심이 되는 연구 과제이며 이러한 규칙은 단지 경험율에 지나지 않으므로 여러가지 사례에 적용을 통하여 수정이 가져야만 한다. 따라서 지식베이스의 경험율의 추가 및 수정이 쉽게 이루어 질 수 있도록 시스템을 구성해야 하며 규칙사이의 상호모순, 포함 중복 함축등을 자동적으로 점검하고 체계적으로 관리할 수 있는 지식 관리 시스템이 필요하며 현재 이에 관한 연구가 활발히 진행되고있는 바 90년대 중반에는 상품화된 tool이 출현할 것으로 전망된다.

전문가 시스템의 규칙 베이스는 통상 방대한 규모가 되므로 해의 탐색시간이 길어진다. 이러한 문제를 해결하기 위한 방법으로 해의 탐색시 해의 존재 가능성에 관한 확률적 접근 방법(또는 Fuzzy 이론)을 사용함으로써 해의 존재 가능성이 적은 경로는 탐색에서 제외 시킴으로써 탐색공간을 축소시키는 방법이 연구되고 있다. 이 방법은 인간 전문가에게 어떤 질문이 던져졌을때 즉각 답을 하거나 아니면 깊이 생각해 봐야하는 등의 단계적 사고절차를 전문가 시스템 모의 한 것으로 주위상황에 따라 단계적으로 탐색공간을 확장해가는 방안을 택하고 있으며 앞으로 활발한 연구가 계속될 것으로 생각된다. 한편 추론시간은 지식베이스의 관리상태에 따라 큰 차

이가 날 수 있으며 무질서한 지식 체계로 지식 베이스가 구성되어 있으면 그 만큼 추론시간도 길어진다. 따라서 지식베이스의 영역을 체계적으로 분류하여 주어진 작업에 필요한 지식만을 추론엔진에 부하(load)시킴으로써 해의 탐색시간을 단축시키는 방안에 관한 연구가 필요하다고 생각된다.

전문가 시스템의 신뢰성은 인간의 경험지식을 규칙화 하여 인간의 사고를 모의한 것이므로 사용된 경험율의 신뢰성이 낮으면 그 신뢰성은 떨어지게 된다. 반면에 전문가 시스템의 추론은 기계적이므로 사용되는 경험율이 확실한 것만으로 되어 있다면 인간의 실수를 피할 수 있으므로 인간 전문가가 보다 오히려 신뢰성이 높게 된다. 그러나 확실한 규칙만을 사용한다면 신뢰성은 높아지나 시스템의 활용폭이 지극히 제한되므로 사용목적에 따라서 추가해야 할 규칙의 확실성 정도를 결정해야 한다. 보편적으로 전문가 시스템의 지식베이스에는 확실성이 낮은것부터 높은것까지 다양한 경험율이 혼합되어 있으며 자기학습 또는 계속되는 추가수정을 통하여 확실성이 낮은 경험율은 점차 확실성이 개선되도록 하는 방법을 취하고 있다. 따라서 특수목적의 전문가 시스템을 개발할 경우는 장시간 테스트를 통하여 신뢰성을 확인한 후에야 현장 적용이 가능하다.

지금까지의 전문가 시스템의 현장적용은 비교적 확실한 경험율을 사용하는 분야로서 경보처리분야, 정전구간 탐색 및 복구방법 탐색분야, 전압제어 분야등에서 온라인적용이 실용화단계에 있으며 이러한 시스템은 인간의 실수를 피할 수 있으므로 계통운전 신뢰성향상을 목적으로 도입된 경우에 해당된다.

한편 확실성이 다소 떨어지는 경험율을 사용하는 분야로서는 상정사고 평가 및 안전도 해석분야로서 현재에는 오프라인으로 운전원 보조 또는 운전원 교육용으로 전문가 시스템이 활용되고 있으며 그 활용도는 온라인 적용이 아니라고 해서 결코 과소평가될 수 없다. 그리고 지식베이스 관리 시스템과 자기 학습기능이 발전되면 전문가 시스템의 신뢰성과 효율성이 크게 향상될 수 있으므로 90년대내에 실용화된 온라인 적용 시스템이 개발될 것으로 전망된다.

6. 결 언

본고에서는 전력계통 운전에서 대단히 중요한 분

야인 신뢰도 제어분야에 대한 전문가 시스템의 적용에 대하여 현재까지의 연구상황과 적용사례를 소개하고 당면 연구개발 과제와 장래 전망을 간단히 기술하였다. 전문가 시스템 연구는 일본과 구미각국에서 활발히 연구되고 있으며 매년 수십개씩의 특수 전문가 시스템 개발용 셸(Shell)이 상품화 되어 쏟아져 나오고 있으며 전문가 시스템 개발용 Tool도 컴퓨터 소프트웨어 관련 회사들이 경쟁적으로 개발 보급하고 있는 상황이므로 수년내에 전문가 시스템의 활용도가 기존 프로그램 활용도와 비슷한 수준으로 급속히 성장할 것으로 예상된다.

전문가 시스템의 응용은 모든 산업 분야에 걸쳐 광범위하게 적용될 수 있을 뿐만 아니라 기술집약적 두뇌산업분야에 걸쳐 광범위하게 적용될 수 있을 뿐만 아니라 기술집약적 두뇌산업이므로 국가전략산업으로의 육성이 바람직하다고 생각된다. 지난해에는 전문가 시스템 응용을 위한 한미 워크숍이 개최되어 양국의 활발한 기술교류가 이루어졌으며 국내외적으로 연구분위기가 성숙되어 있는 만큼 국내에서도 전력계통 신뢰도 제어분야에도 전문가 시스템 도입을 위한 연구가 활성화 될 수 있길 바라는 바이다.

참 고 문 헌

- [1] T.Sakaguchi, K.Matsumoto, "Development of a Knowledge Based System For Power System Restoration", IEEE Trans. on Power Apparatus and System, Vol. PAS-102, No. 2, February 1983.
- [2] R.D.Shultz, K.E.Mankouski, R.A.Smith, "A Power System Operator Emulator-The Security Assesment Task", IEEE Trans. on Power Apparatus and System, Vol. PAS-104, No.12, December 1985.
- [3] S.Yamashiro, "On-line Secure-Economy Preventive Control of Power Sytems By Pattern Recognition", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. PWRS-102, No.3, August 1986.
- [4] R.Fujiwara, et al. "An Intelligent Load Flow Engine For Power System Planning", IEEE Trans. on Power System, Vol. PWRS-1, No.3, August 1986.
- [5] B.F.Wollenberg. "Feasibility Study For An Energy Management System Intelligent Alarm Processor", IEEE Trans. on Power System, Vol. PWRS-1, No.2, May 1986.
- [6] C.C.Liu, K.Tomosovic, "An Expert System Assisting Decision-Making" IEEE Trans. on Power System, Vol. PWRS-1, No.3, August 1986.
- [7] S.N.Talukdar, E. Cardozo, T.Perry, "The Operator Assistant-An Intelligent, Expandable Program for Power System Trouble Analysis", IEEE Trans. on Power System, Vol. PWRS-1, No.3, August 1986.
- [8] H.Amelink, A.M.Forte, R.P.Guberman, "Dispatcher Alarm And Message Processing", IEEE Trans. on Power System, Vol. PWRS-1, No.3, August 1986.
- [9] C.Fukui, J. Kawakami, "An Expert System For Fault Section Estimation Using Information From Protective Relays And Circuit Breakers", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. PWRD-1, No.4, October 1986.
- [10] A.A.Fouad, K.C.Kruempel, V.Vittal, A.Ghafurian, K.Nodehi, J.V.Mitsche, "Transient Stability Program Output Analysis", IEEE Trans. on Power System, Vol. PWRS-1, No.1, February 1986.
- [11] K.Tomosovic, P.Ackerman, S.Pope, "An Expert System As A Dispatchers' Aid for The Isolation of Line Section Faults", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. PWRDF-2, No.3, July 1987.
- [12] S.Rahman, R.Bhatnagar, "An Expert System Based Algorithm For Short Term Load Forecast", IEEE Trans. on Power System, Vol.3, No.3, May 1988.
- [13] E.Cardozo, S.N.Talukdar, "A Distributed Expert System For Fault Dignosis", IEEE Trans. on Power System, Vol.3, No.2, May 1988.
- [14] S.J.Cheng, O.P.Malik, G.S.Hope, "An Expert System For Voltage and Reactive Power Control of a Power System", IEEE Trans. on Power System, Vo.3, No.4, November 1988.
- [15] F.Mercede, J.C.Chow, H.Yan, R.Fischl, "A Framework To Voltage Collapse In Power Systems", IEEE Trans. on Power System, Vol.3, No.4, November 1988.
- [16] H.B.Puttgen, J.F.Jansen, "An Expert System For The Design of A Power Plant Electrical Auxiliary System", IEEE Trans. on Power System, Vol.3, No.1, May 1988.
- [17] A.E.Hammad, M.Z.E1-Sadek, "Prevention of Transient Voltage Instabilities Due To Induction Motor Loads By Static Var Compensator", IEEE

- Trans. on Power System, Vol. 4, No.3, August 1989.
- [18] V.Vittal, E-Z.Zhou, C.Hwang, A.A.Fouad, "Derivation of Stability Limits Using Analytical Sensitivity Of The Transient Energy Margin", IEEE Trans. on Power System, Vol.4, No.4, October 1989.
- [19] P.W.Sauer, A.K.Behera, M.A.Pai, J.R.Winkelman, J.H.Chow, "Trajectory Approximation For Direct Energy Methods That Use Sustained Faults With Detailed Power System Models", IEEE Trans. on Power System, Vol.4, No.2, May 1989.
- [20] G.Zhang, A.Bose, "Scenario Building For Operator training Simulators Using A Transient Stability Program", IEEE Trans. on Power System, Vol.4, No.4, October 1989.
- [21] Y.Akimoto, et al., "Transient Stability Expert System", IEEE Trans. on Power Systems, Vol.4, No.1, February 1989.
- [22] L.Wehenkel, Th. Van Cutsem, M.Ribbens-Pavella, "An Artificial Intelligence Framework for on-line Transient Stability Assessment of Power Systems." IEEE Trans. on Power Systems, Vol.4, No.2, May 1989.
- [23] D.B.Tesch, et al., "A Knowledge-Based Alarm Processor for an Energy Management System" IEEE Trans. on Power Systems, Vol.5, No.1, February 1990.
- [24] A.A.Fouad, S.E.Stanton, "Transient Stability of a Multi-machine Power System PART1 : Investigation of System Trajectories" IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-100, No.7, July 1981.
- [25] J.L.Souflis, A.V.Machias, B.C.Pppadias, "An Application of Fuzzy Concept to Transient Stability Evaluation" IEEE Trans. on Power System, Vol. 4, No.3, August 1989.
- [26] A.A.Fouad, et al., "Direct Transient Stability Assessment with Excitation Control" IEEE Trans. on Power System, Vol.4, No.1, February 1989.
- [27] S.E.Stanton, W.P.Dykas, "Analysis of a Local Transient Control Action by Partial Energy Function" IEEE Trans. on Power System, Vol.4, No. 3, August 1989.
- [28] A.A.Fouad, et al., "Direct transient Stability Analysis using Energy Functions Application to Large Power Networks", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. PWRS-2, No.1, February 1987.
- [29] R.Chen et al., "Building Expert System for Static Security Assessment of Power System" IFAC Symposium on Power System and Power Plant Control, Seoul Korea, p.702-710, August 1989.
- [30] Y.H.Moon, et al., "An Expert System For Operational Aids of Security Control By Incorporation With Conventional Program Packages", Korea-U.S.A. Joint Seminar On Expert Systems for Electric Power Systems, Seoul, Korea, August 1989.