

原子力分野의 專門家 시스템 應用

김 낙 교

(건국대 공대 전기공학과 부교수)

1. 序 論

1979년 3월 미국의 TMI(Three Mile Island) 原子力 發展所(이하 原電으로 略稱)의 核漏出 사고와 1986년 4월 소련 Chernobyl 原電의 참사는 原電의 安定性 確保가 얼마나 중요한지를 여실히 증명해주는 중대 사고이었다. 原電 사고분석 專門家들은 위의 두가지 사고 사례에서 MMI(Man-Machine Interface)를 개선 할 수 있는 더욱 많은 자동화 정보를 컴퓨터 진단등을 통해 운전원에게 제공하여 운전원이 어떠한 상황하에서도 플랜트의 상태를 정확하게 파악하고, 착오없이 대처할 수 있도록 대책을 강구하여야 한다고 주장하였다. 또한 原電은 매우 복잡한 대규모 시스템으로 여러가지 상황변화 및 사고시에도 안전하게 운전되어야 하고(安全性確保), 設備 利用率을 높이기 위해서는 고도의 운전 및 整備技術이 확립되어야 한다. (設備 利用率 提高).

이러한 運轉 및 整備技術의 고도화를 위하여 原電의 운전 및 정비에 관한 지식의 양적 확대, 판단의 신속성과 신뢰성 향상, 숙련된 전문 기술자의 기술 전수 등이 요구된다. 특히 原電 운전자는 정상운전 중에도 방대한 양의 수치, 수량 및 기호 정보를 처리, 판단 하여야 하며 더구나 비정상 또는 비상상태 하에서는 플랜트의 상황판단시 더욱 어려움에 처하게 되어 그릇된 판단이나 오조작으로인한 사고의 확대 및 유발 가능성이 항상 존재하고 있다. 그러나, 지금까지의 소극적 대응책(교육, 훈련등) 만으로는

위와 같은 상존하는 위험으로 부터 벗어날 수 없을 뿐 아니라 原電의 安全性 提高 및 利用率 向上의 목적을 달성할 수 없는 실정이므로 새로운 적극적 대응책이 강구되어야 하며, 이 대응책의 하나로 최근 급속도로 발전하고 있는 人工智能(Artificial Intelligence)을 이용한 專門家 시스템(Expert system)을 原電運轉에 이용하고자 하는 방안으로 모색되고 있는데, 이 기법을 이용하게 되면 原電 運轉者에게 항상 신속하게 플랜트의 현재 상태에 대한 정확한 정보의 접근과 전문가의 조언을 제공하게 되어 運轉者로 하여금 상황 판단 능력의 불확실성을 대폭 제거할 수 있게 해준다. 이미 專門家 시스템 技術은 미국, 일본, 프랑스, 캐나다 등의 선진 각국의 전력회사, 연구소 및 산업체 등에서 광범위하게 연구, 적용되어 그의 능력과 장점이 입증되었다.

에너지 부존 자원이 빈약한 우리나라는 전체 전력 계통에 대한 原子力 發電 비율이 점증하고 있는 추세이며, 原電의 利用率 極大化와 安全性 提高는 국가 경제와 사회에 막대한 영향을 미치는 중대한 문제로서 생산성 향상, 의사결정 보조, 專門知識의 획득과 분배가 가능한 專門家 시스템을 原電運轉에 응용하게 되면 原電 운영의 주요 목표인 安全性 提高 및 利用率 極大化 문제를 원활하게 달성 할 수 있을 것이다.

본 고에서는 原電에서의 專門家 시스템 응용 배경과 타당성을 검토하고, 專門家 시스템의 개발현황 및 응용연구 현황과 전망등을 관련 문헌을 토대로

하여 제시하고자 하며, 즐고이나마 관계자 제위계 일조를 하였으면 하는 마음 간절하다.

2. 原子力分野의 전문가 시스템 開發現況

전문가 시스템을 原子力發電所에 적용하기 위한 연구는 1980년대에 들어 미국, 일본, 캐나다, 프랑스 등에서 활발히 진행되고 있다. 미국은 EPRI를 중심으로 학계 및 관련업계, 전력회사 등에서 연구

가 활발히 진행되고 있고 일본은 전력회사 및 도시바, 미쓰비시 등의 원자력 발전 설비 제작업체에서 적극 개발하고 있으며, 프랑스에서는 EdF, Framatome 등을 중심으로 연구개발되고 있다. 현재 개발되고 있는 원자력발전용 전문가 시스템은 주로 사고 진단 및 처방분야, 발전소 정비분야, 운전원 의사결정 지원분야, 핵연료 재배치 분야 등이다. 그러나 지금 까지 개발된 시스템의 대부분이 試製品 (Prototype)으로 模擬裝置(Simulator)에 도입하여

표 1 원자력 발전소용 주요 전문가 시스템 개발현황

분류	시스템 명칭	기능	개발사	비고
고장진단	REACTOR REALM GenAID DISKETT DMA Pump Pro SCOPE	PWR 원자로 고장 진단 원전의 비상상태 진단 발전기의 실시간 고장 진단 원자로동특성 해석 다중경보 진단 각종펌프의 고장진단및 원인 규명 발전소 기기 감시 및 자체진단	EG&G(미) TA, (미) TU, WH OECD, Halden Du Pont S&W Bechtel	LISP LISP, C
정비지원	IEDA MOVES 원자로계장계통 보수지원시스템 MPGV	S/G튜브의 와류데이터 분석 전동발브 정비계획 원자로계장계통기기 진단 및 보수 지원 S/G의 예방정비계획	WH Iowa state Univ. Toshiba Framatome	LISP, PROLOG
핵연료 관리	핵연료사이클 중 합평가 시스템 CLEO CRAW	핵연료사이클의 평가 핵연료 재장전 핵연료피복결합진단	일본 동연사업단 WH Hanford	E SHELL UT- LISP
최적운전 지원	비상운전절차용 진산추적시스템 ESCORT RHR EXTRA ERFIS MAPI	비상운전 절차 자동추적 발전소정보 실시간 제공 정지과정시 원자로 잔열제거 경보발생시 경보관련 자료 분석, 원인과 복구 절차 제공 운전원 의사결정 지원 원자로 정지 또는 안전주입사고시 정보 제공	EPRI S&W Odetics EdF EI Intl' 미쓰비시	Gensia I, II
기 타	SIRACUS CCCS	용접 검사 기기배치가 발전소 계통에 미치는 영향	Framatome ANL	M, 1

성능을 검증, 보완하고 있는 상황이며 실제로 原子力發電所에는 이중 극히 일부만이 실용화 되고 있으나 멀지 않은 장래에 점진적으로 실용화될 전망이다. 현재 개발중인 原子力發電所用 主要 專門家 시스템은 표1과 같다.

있어 발생사고에 대해 신속하고 정확히 대처할 수 있다. 이 분야에 관련된 專門家 시스템은 미국, 일본등에서 활발히 연구 개발되고 있으며, 국내에서도 연구가 진행중에 있어 原子力發電所에 적용이 가능한 분야로서 표2와 같이 분류할 수 있다.

3. 原子力發電所에의 專門家 시스템 應用 分野別 研究事例

3.1 異常 珍斷 및 設備豫防 整備 分野

3.1.1 開發 背景

이상 진단 및 설비예방 정비는 原子力發電所의 安全性 確保와 信賴性 향상을 위해 개발되었으며 이 분야는 사고진행중의 이상진단및 처방 관련분야, 사고로 인해 발전소 정지후의 사고 해석및 처리대책 수립분야로 나눌 수 있다. 이 시스템은 각 분야 전문가의 지식과 경험을 종합할 수 있기 때문에 인간 전문가 보다 더 신뢰성이 높은 해결책을 강구할 수

3.1.2 應用 研究 事例

1) REALM(Reactor Emergency Alarm Level Monitor)

전문가 시스템에 대한 EPRI의 초기 사업계획중의 하나인 이 시스템은 TA사 (Technology Application)에 의해 개발되었다. 측정된 증후와 미리 지식 베이스에 입력된 가능사고와 비교하여 비정상상태의 원인을 진단하는 시스템으로 Indian Point 2 原子用으로 개발하였다.

2) GenAID(On-Line Generator Diagnostic System)

TU(Texas utilities)와 WH(Westing house)사가

표 2. 이상진단 대상

大分類 症狀	具體的 症狀	系 統
爐心 출력제어에 影響을 주는 現狀	-제어봉의 異常珍斷 -1차 냉각재의 硼酸濃度의 異常變化	-제어봉 제어계 -화학체적 제어계
爐心 냉각능력에 影響을 주는 現狀	-1차냉각재 펌프 異常 -1차 냉각재 압력 異常變化 -蒸氣발생기 保有水의 異常變化	-화학체적 제어계 보조냉각 -가압기 압력제어계 -주급수 제어계 -주 증기계
1차냉각재 보유 수량에 影響을 주는 現狀	-가압기 水位의 異常變化 -체적제어 탱크 異常	-가압기 수위제어 -화학체적 제어
原子爐 격납용기內 1차 냉각재의 방출	-가압탱크 이상	-1차 냉각재
주요기기의 기능 유지에 影響을 주는 현상	-보조냉각계 이상	-보조냉각계
증기발생기 수위에 影響을 주는 2次 系統현상	-給水流量 이상 변화	-급수계
turbine 및 보조기기 운전에 影響을 주는 현상	-脫氣器 수위 이상 -주터빈계 이상 -냉각수계 이상	-複數計 -주 터빈계 -냉각수계

공동 개발한 온라인 발전기 진단용 전문가 시스템으로 여러가지 발전기 가능사고를 진단하고 각 사고에 대한 처방을 제공한다. 이 시스템은 특수모니터를 Texas 전력회사의 발전기에 부착한후 WH사의 Diagnostic Center(Orland, Florida)와 통신선으로 연결 하였다. 이 시스템은 인간의 판단 착오 위험을 감소시키는데 아주 유용한 도구로 입증 되었으며 현재 사용중에 있다.

3) DMA(Diagnosis of Multiple Alarm)

이 시스템은 South Carolina 주 Aiken에 위치한 Savannah River Production Reactor에서 Du Pont 회사에 의해 수년 동안 성공적으로 사용된 다중 경보 진단 시스템이다. 이 시스템은 235개의 발전소 집합경보장치와 연결하고 발전소 이상 상태에 따른 경보형태를 인식하기 위해 event-tree 해석법을 사용한다.

4) ADPA(Accident Diagnosis and Prognosis Aide)

Technology Applications, Inc가 DOE의 지원으로 개발한 전문가 시스템으로

- a) 사고상태를 진단하고,
 - b) 진단된 결함과 함수로 노심손상의 가능성을 계산하며,
 - c) 검출된 특정상태에 대한 복구절차를 제공해준다.
- 5) MOVES(Motor-Operated Valve Expert System)

Duan Arnold Energy Center와 Iowa State Univ.가 공동으로 개발한 전동밸브 정비용 전문가 시스템이다. 여기서 정비는 안전관련 밸브의 운전 증상의 진단, 적절한 정비에 대한 처방, 필요 절차의 결정, 정비후 필요한 시험 항목 제공 등을 포함한다.

6) 原子爐 計裝 補修支援 専門家 시스템

일본의 도시바사가 개발한 핵 계장계통 보수 지원용 専門家 시스템으로

- a) 원자로 계장계통에서 발생한 사고에 대한 기기의 상태를 추론하고 원인진단하는 상태 진단기능과,
- b) 계장계통의 수명을 예측하고, 고장 발생가능성을 예측하여 이상 현상의 발생을 미연에 방지하는 기능을 가지고 있다.

이 밖에 Framatome이 개발한 原電 증기발생기의 예방정비 계획을 제공해주는 専門家 시스템인

MPGV, 발전소가 비정상 상태에 있을 때 운전원을 돕기 위한 실시간 진단 및 제어용 전문가 시스템인, DYSIS, Westing house사가 개발한 原電 증기발생기 내에 설치된 45 mile 길이의 튜브의 와류 데이터를 분석하여 결함을 찾아내는 専門家 시스템인 IEDA (Intelligent Eddy Current Data Analyzer), 미국의 Stone& Webster사가 개발한 발전소용 각종 펌프의 고장진단, 원인파악 및 처방을 제공하는 시스템인 Pump pro, 일본 도시바사가 개발한 原電 保守支援 専門家 시스템등이 있다.

3.2 運轉支援 分野

3.2.1 開發 背景

TMI사고 이후 운전자의 오류에 의한 사고확대 방지를 위해 많은 연구와 조치들이 취해지고 있다. 이는 原電 사고시 主制御室 운전원은 매우 급박한 상황에서 신속하고 정확한 의사결정을 통하여 발전소를 안전하게 운전하여야 하나, 긴급시 판단력의 혼란, 특히 대량 경보 발생시 사고원인 파악의 어려움 등으로 그릇된 판단 및 오조작의 가능성을 배제할 수 없다. 이러한 사고상황시 인간의 오류를 방지하고 사고에 신속, 정확한 대응을 하기위해 사고나 이상발생시 그 원인과 적절한 처방을 운전원에게 제공하는 전문가 시스템의 제공이 바람직하게 된다. 이 시스템은 정상운전중이나 기동, 정지 및 負荷追從중에도 플랜트에 관련된 각종 정보와 상태를 파악하여 운전원이 最適의 發電所 운전을 행할 수 있도록 플랜트의 각종 데이터획득 및 편집기능, 각종 기기 및 설비에 대한 운전 감시기능, 점진적으로 변화하는 플랜트 상태로 부터 이상여부를 검출하여 사고나 고장을 피할 수 있는 최적운전 조작 정보를 제공하는 기능을 가지고 있는 것이 바람직하다.

3.2.2 應用 研究 事例

1) Computerized Tracking System for Engineering Operating Procedures

GE사 臺灣電力과 EPRI가 공동으로 개발하고 있는 비상운전절차용 전산화 추적 専門家 시스템으로 Safety Parameter Display System Computer에 내장되어 있으며, BWR-6의 원자로에 성능 시험중이다.

250여개의 규칙으로 비상 운전절차를 기술하였으며 1초 이내에 평가될 수 있다. 파라메타 변화후 1초 이내에 이에 따른 결론이 운전원에게 제공되는 실시간 시스템이다.

2) TRIBES(Trip Buffer Expert System)

Middle South Utilities가 개발한 이 TRIBES 시스템은 원자로의 제어요소 집합체 위치와 플랜트 파라메타를 감시하는 노심 보호 계산장치와 제어 요소 집합체 계산장치로부터 발생된 Trip 신호를 해석하는 전문가 시스템이다.

3) DISKETT

플랜트의 동특성 현상을 제어하는 시스템으로 플랜트에서 실시간 측정된 데이터와 저장된 지식 베이스를 사용하여 사고의 유형과 원인을 인식하는 IERIAS 추론 엔진으로 구성되어 있다. ND570 컴퓨터를 이용하여 실제 규모의 Halden 원자력 발전소 시뮬레이터 NORS에 연결하여 시험하였다.

4) Alarm Diagnosis and Filtering 시스템

ORNL의 High Flux Isotope Reactor의 경보 처리를 위해 개발된 전문가 시스템으로 플랜트가 과도상태 증일때 운전자의 판단을 지원하는 전문가 시스템이다. 또한 이 시스템은 현재의 상태와 새로운 정보 형성에 무관한 경보신호를 식별하여 중요성을 감소시킨다.

5) RHR(Residual Heat Removal) 전문가 시스템

Odetics사에서 개발한 원자로 정지중의 잔열 제거 운전 전문가 시스템이다. 플랜트 센서로부터 데이터를 감시하고, 이상상태의 조기진단, 시스템고장에 대한 원인 파악 및 적절한 처방을 제공할 수 있는 Prototype이 개발되었다.

6) ESCORT(Expert System for Control of Operation in Real Time)

Stone & Webster 사가 개발한 시스템으로 발전소의 각종 정보를 실시간으로 제공하여 운전원으로 하여금 플랜트 상태의 정확한 파악과 조작을 가능하게 한다. 또한 하나의 정보로 여러가지 프로그램에서 활용할 수 있는 흑판(Blackboard) 시스템으로 구성되었다.

이밖에도 프랑스 EdF사가 개발한 시스템으로 원전에서 경보발생시 경보 관련자료를 분석하여 원인과 복구절차를제공하는 전문가 시스템인 EXTRA, 미쓰비시사에서 개발한 원자로 정지 또는 안전 주입

과 같은 중대사고시 각종 정보를 제공하여 운전원이 최적의 조치를 취할 수 있도록 하기 위한 전문가 시스템인 MAPI(Mitsubishi Atomic Power Industries), 미국의 Stone&Webster사에서 개발한 원전의 기술사양과 운전제한조건을 분석하는 시스템인 TSM(technical Specification Monitor), 플랜트의 특정 파라미터의 상태가 경보한계에 도달하기전에 고장을 검출, 운전원에게 제공하여 필요한 조치를 수행하게 하는 EFD(Early Fault Detection)등의 전문가 시스템이 있다.

3.3 核燃料 管理 分野

3.3.1 開發 現況

핵연료 사이클 관리 및 재배치 분야는 대량의 정보를 처리해야 하기때문에 기존의 전산 시스템에 의한 제약들 즉, 사용 가능 정보의 제한, 유연성의 제한, 상호교류제한 등을 극복할 수 있는 방안으로서 專門家 시스템의 적용이 고려될 수 있다. 특히 核燃料 再配置 計劃表를 작성하는데 종래의 방법을 사용하면 수 일 내지는 수주일 걸리는 작업을 專門家 시스템은 30여초 이내에 처리할 수 있어 발전소 정지 시간을 대폭 절감시킴으로 利用率을 向上시킬 수 있다.

3.3.2 應用 研究 事例

1) Clones of Experts at FFTF(Fast Flux Test Facility)

Westinghouse Handford 사는 2개의 專門家 시스템—CLEO, CRAW—을 개발하였다. CLEO(Clone of Leo) 시스템은 FFTF의 현재와 미래의 노심배치 계획을 입력하면 종래의 수일 내지 수주일 걸리는 작업을 30여초 이내에 핵연료 재배치 이동 스케줄을 작성 제공하는 專門家 시스템이다. CRAW(Clone of Rawlines)시스템은 FFTF의 핵연료 피복의 결함을 진단한 專門家 시스템으로 24시간 핵연료 피복상태를 감시하는 시스템이다.

2) 核燃料 사이클 綜合評價 시스템

일본 동연 사업단에서 개발한 시스템으로 핵연료 사이클 문제의 해설을 지원하고 핵연료 계획을 수립하고 지원하는 전문가 시스템이다. 이 시스템은 원자력 관련 정보 데이터 베이스, 해석평가 코드군,

전문가 시스템 및 인터페이스로 구성되었으며, 문제 해결기능, 해답표시기능, 지식획득기능 및 지식관리 기능을 가지고 있다.

3) BWR Fuel Channel Tracking System

Mississippi State University에서 개발중인 시스템으로 BWR(Boiling Water Reactor) 원자로의 핵연료 채널을 추적하는 專門家 시스템이다.

3.4 其他 專門家 시스템

이상에서 살펴 본 분야 외에도 原子力 發電所와 관련된 많은 專門家 시스템이 개발되고 있으며 각종 계통의 성능평가, 기기배치 관련분야, 확률론적 위험도 분석(PRA), 회전기기 진동해석등 다방면에 걸쳐 연구가 진행중이다. 대표적인 응용 사례로는 미국의 Sargent & Lundy 사가 개발한 Make-Up Demineralization system의 계통설계 및 운전 정보의 설정 및 수정, 운전자료의 기록, 설비 성능 평가, Tag 리스트 및 정보 화면을 제공하는 專門家 시스템인 DEMINXPRT, Framatome이 개발한 용접 검사용 專門家 시스템으로 용접부위를 초음파 장비에 의해 검사를 수행하고 CRT 화면을통해 인간-기계 대화가 가능한 SIRACUS, ANL(Argonne National Lab.)과 Central Washington Univ. 에서 공동 개발한 시스템으로 發電所의 기능 요건에 따라 기기배치가 계통에 미치는 영향을 분석하여 최적의 기기배치를 결정하는데 사용되는 專門家 시스템인 CCCS(Component Configuration Control System)등이 있다.

4. 原子力發電所에 專門家 시스템 應用時 問題點과 展望

原子力發電所의 대용량화, 광범위한 자동화등의 비약적 기술진보에 따라 發電所의 고장방지 및 고장 발생시 조기 발견과 처방, 사고 확대 방지, 원인규명, 조기 복구를 통하여 原電의 安全性과 利用率을 向上시킬 수 있는 고도의 지원수단이 필요하게 되었다. 여기에 人工智能技法의 발달에 따라 인간의 認知 방법을 사용한 專門家 시스템을 原電 運轉에 적용하려는 연구가 활발히 진행되고 있다.

지금까지 주로 原子力發電所 運轉과 밀접하게 관련된 분야에 응용하려는 시스템이 개발되고 있으나

직접 原電에 설치하여 사용할 수 있는 시스템은 극히 초기단계로 기초 시스템을 개발하여 模擬裝置에 적용하고 있는 정도이다. 그러나, 模擬裝置에서의 성능 평가 결과 우수한 것으로 입증되어 실제 原電 運轉에의 적용은 멀지 않아 실현 될 것으로 展望된다. 그러나 專門家 시스템 사용시 문제점으로는

- 1) 시스템이 항상 정적 상황만을 취급하는 것.
- 2) 시스템의 조건이 변화하면 관련 데이터를 새로운 것으로 대처하여야 하는것.
- 3) 이 시스템은 때때로 상식적인 상황이나 독특한 상황에 사용할 수 없다는 것.
- 4) 이 시스템의 결과는 專門家 시스템에 내장된 지식의 정확도에 의존 할 수 밖에 없다는 것.
- 5) 지식 베이스를 계속적으로 Updatiog 하지 않고는 經驗的 知識만으로 아무런 이익을 얻을수 없다는 것 등이다.

또한 專門家 시스템은 자기 전문지식 영역밖의 문제는 전혀 해결할 수 없으며, 틀린 답을 도출하게 된다. 이러한 專門家 시스템의 문제점들은 知識工學者와 現場技術者간의 활발한 의사 소통을 통해 광범위한 전문지식을 지식 베이스에 실현하고 계속적으로 발생하는 經驗的 專門知識을 주기적으로 Updating하여 줌으로써 해결할 수 있으리라 展望된다.

5. 結 論

앞에서 살펴본 바와 같이 專門家 시스템의 原子力 분야에의 응용은 原電의 安全性 確保와 利用率 提高 측면에서 매우 유력한 방안으로 인식되고 있다. 선진 각국의 현황은, 미국의 경우 EPRI를 중심으로 각 대학과 전력회사및 발전기기 제조 및 설계업체들이 專門家 시스템을 개발하여 비교적 보수적인 전력회사의 發電所 및 原子力 發電所에 적용하려는 연구를 활발히 진행하고 있으며, 일부 시스템은 이미 prototype 개발을 끝내고 模擬裝置에서 성능실험을 끝마친 상태이며 멀지 않아 실제 原電에 적용될 展望이다.

일본에서는 도시바, 미쓰비시, 관서전력, 동연사업단, 일본원자력연구소 등이 專門家 시스템 개발과 적용 연구에 심혈을 기울임 있으며 현재 상당한 기술 수준에 이른 것으로 평가되고 있다. 프랑스와 캐나다 등에서도 專門家 시스템의 原電 適用에 대한

연구를 수행하고 있으나 아직 초기단계로 보여진다.

우리나라의 경우 이 분야에 대한 연구가 학계와 관련연구기관, 전력회사등에서 이제 시작되고 있으며 앞으로 더욱 활발한 연구와 투자로 선진국과의 기술격차를 줄이고, 우리 스스로 專門家 시스템을 개발할 수 있는 능력을 길러야 할 것이다. 현재 선진국에서 이 분야에 대한 급속한 개발 추세로 보아 앞으로 많은 분야에 전문가 시스템이 적용될 전망이다. 국내 原電에 專門家 시스템을 도입할 경우, 현재의 기술로 가능한 수준과 그 한계를 명백히 하고, 이용 목적이나 적용대상을 명확히 정한후 시스템을 도입 적용해야 할 것이다. 국내의 기술개발현황을 고려해 볼때 우선 事故 診斷 및 處方, 運轉員 意思 決定 支援分野, 核燃料 再配置 計劃 分野, 運轉員 訓練分野등에의 도입이 바람직하며 아주 기초적인 것부터 적용하여 經驗과 技術을 축적한 후 점진적으로 기술수준이 높은 專門家 시스템을 도입 적용하여야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] R.E.Uhrig, "Tutorial Expert Systmes and Their Uses in Nuclear Power Plants," Conference Notebook, Conf. on Expert Systems Applications for the Electric Power Industry, Orlando, FL., June 5-8, 1989
- [2] R.E.Naser, "EPRI's Nuclear Power Division Expert System Activities for the Electric Power Industry," ibid
- [3] J.O.Yang, S.H.Chang, "A Diagnostic Expert system for the Nuclear Power Plant Based on the Hybrid Knowledge Approach," IEEE T-NS. Vol. 36, No. 96, pp. 2452-2458, Dec. 1989.
- [4] S.N.Talukdar, et al., 'Toast: The Power System Operator's Assistant,' Computer, July 1986.
- [5] R.E.Uhrig. "Uses fo Probablistic Risk Assessment (PRA) in Expert Systems to Advise Nuclear Plant Operators and Managers, Proc. of the SPIE-The Int'l Soc. for Optical Eng.," IV. Applications of Artificial Intelligence. Vol. 937, Orlando. FL., Apr. 1988,
- [6] R.E. -Uhrig. "Opportunities for Automation and Control of the Next Generation of Nuclear Power Plants," Nuclear Technology, Vol. 88, pp. 157-165, Nov. 1989.
- [7] Nuclear Engineering International, "Framatome develops an Expert system to chracterize defects," pp. 22-26. Dec. 1987.
- [8] Y. Fujita. "MAPIS knowledge-based system will help to deal with abnormal conditions", Nuclear Engineering International. July 19787.
- [9] R. E.Sojka, S.A.Henderson, "Erfis will improve man-machine interfaces at Vermont Yankee," Nuclear Engineering Int'l, pp. 33-34, July 1987
- [10] T. Morioka, A. Fukomoto, "Intelligent Operation System for Nuclear Power Plants," Toshiba Review, Vol, 42, No. 5, 1987.
- [11] R.A. Touchton, et al. "Reactor Emergency Action Level Monitor Expert System Prototype," EPRI NP -5719, Sept. 1988
- [12] R.Lang, "TRIBES-A CPC/CEAC Trip Buffer Expert System," Seminar Notebook of Seminar: Expert Systems Applications in Power Plants, Boston, MA, May 27-29, 1987
- [13] R.A.Danofsky, et al., "MOVES: A Knowledge-Based System for Maintenance Planning for Motor-Operated Valves," Trans. on American Nuclear Soc., Vol. 55, pp. 66-67, Nov. 1987
- [14] OECD Halden Reactor Project, HWR-188. "Documentation of the Diagnosis System DISKET (Fortran Version)," Halden, Norway, Feb. 1987
- [15] 大竹 巖, "퍼스컴의 原子力 分野에서의 利用," 原子力工業, 제32권, 제12호, pp. 41-50, 1986
- [16] 巖 田明, "原子力發電 플랜트 맨-머신 시스템의 開發에 관하여," 原子力工業, 제32권, 제11호, pp. 13-36, 1986
- [17] 石堂 昭夫 外, "動燃에서 Expert System 開發 現象," 原子力 工業, 제33권, 제4호, pp. 49-63, 1987
- [18] 谷衛外, "PWR 原子力發電所 Instruction System 의 開發", 火力原子力發電, 제37권, 제5호, pp. 61-69, May 1986
- [19] "電力業務에 人工知能 導入研究," 중간보고서, 한국전력공사, 전자계산소, 1988년 12월
- [20] "원전에 인공지능 및 로봇적용현황검토," 기술 개발보고서, KOPEC/88-T-022, 한국전력기술(주), 1988년12월
- [21] 장 순홍, "원자력 사업과 인공지능," 원자력학회지, 제18권 제4호, pp. 324-330, 1986
- [22] "전력업무에 인공지능 (Expert System) 도입연구," 중간보고서, 기초전력 공동연구소, 1990.4