



화학공정에서의 On-line 전문가시스템의 응용

이문용·박선원

한국과학기술원 화학공학과

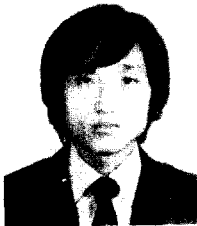
1. 서론

인공지능은 1956년 Dartmouth 회의를 시발점으로 하여 1960년초 Feigenbaum 교수에 의해 한정된 영역에서 전문가의 기능을 수행하는 전문가시스템이 소개되면서 연구활동이 더욱 가속화 됐다. DENDRAL, MYCIN, PROSPECTOR 등의 일련의 초기 전문가시스템의 성공적인 개발은 여러 산업 분야에서의 전문가시스템의 응용 가능성을 더욱 밝게 해 주었다. 특히 화학공정에서의 컴퓨터제어기술과 분산제어시스템의 발달은 전문가시스템의 응용을 위한 좋은 여건을 만들어 주고 있다. 공정 전체 운영의 최적화를 위한 기술은 구조적으로 몇개의 계층으로 구성되는데 직접적 제어기능이 실현되는 최하부계층과 이로부터 받아들인 각종 공정정보를 바탕으로 공정의 감시 및 진단을 해 주는 계층, 최적화 및 전략 기능이 수행되는 최상위계층으로 이루어져 있다고 볼 수 있다.

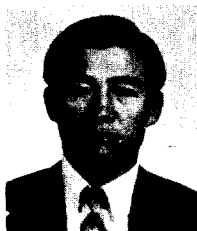
따라서 각 계층에서의 전문가와 운전자의 경험과 이론을 이용하여 최적의 운영을 수행하고자 하는 것이 화학공정에서의 전문가시스템의 기본 목적이라 할 것이다. 이를 위해서 공정제어, 공정 감시 및 진단, 최적화, planning과 scheduling 등의 각 계층에 대한 전문가시스템의 개별적 응용이 연구되고 있으며 궁극적으로는 보다 종합적 개념의 시스템(그림 1)으로 발전되어 가려 하고 있다. 화학공정에서의 on-line 전문가시스템의 현재위치는 출발점 상에 있다고 볼 수 있으며 기대되는 경제적 효과와 활발한 연구추세로 보아서 핵심공정기술의 한 분야가 될 것으로 예측되며 이미 개발 적용중인 일련의 시스템들의 결과에서 보다 밝은 전망을 얻을 수 있다. 본문에서는 화학공정에서의 on-line 전문가시스템의 기본 개념과 각 기술계층에의 적용 연구 현황 등에 대한 전반적인 소개를 하고자 한다.

2. 실시간 처리를 위한 방법론

화학공정 산업에 있어서의 이상적 전문가시스템



- 1982 서울대학교 화공과(학사)
- 1984 한국과학기술원 화공과(석사)
- 1984-현재 (주)유동 울산연구소 공정담당 연구원
- 1987-현재 한국과학기술원 화공과 연구원 박사과정



- 1970 서울대학교 화공과(학사)
- 1975 Oklahoma State Univ. 화공과(석사)
- 1979 Univ. of Texas at Austin 화공과(박사)
- 1987 Univ. of Houston at Clear Lake(MBA)
- 1979-1988 Hoechst Celanese에서 Systems Engineer, Sr. Process Control Engineer, Staff Engineer 역임
- 1988-현재 한국과학기술원 화공과 부교수

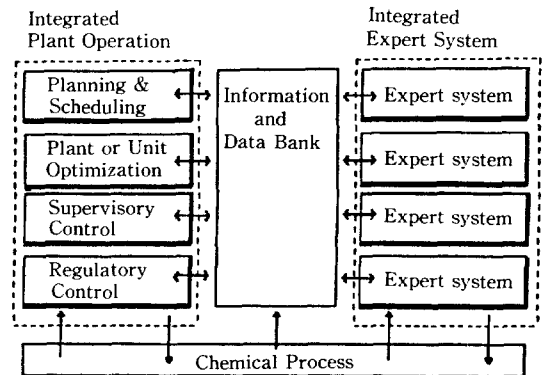


그림 1. 공정 기술의 계층적 구조와 전문가시스템.

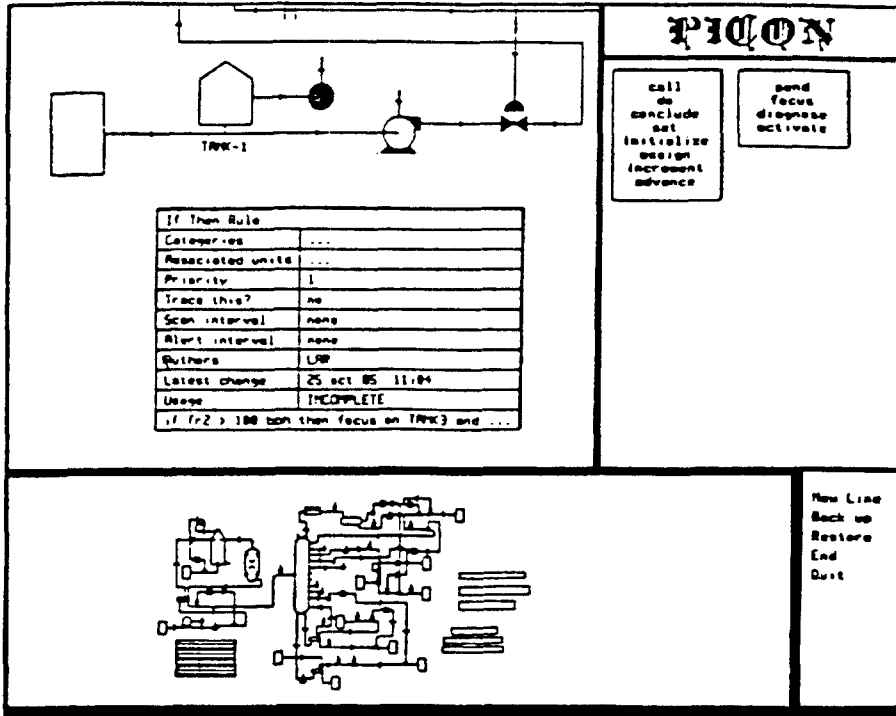


그림 2. 공정 지식의 도식적 획득.

시스템은 모든 공정의 startup, shutdown, 정상 가동을 제어하며 최적화시키고 scheduling과 통계적 기능을 수행하며 문제 발생시에 이를 탐지하고 문제해결을 위한 조치를 제시하며, 앞으로 발생할 사건들을 예고하는 시스템일 것이다. 이러한 시스템에 있어서 가장 어려운 문제는 이 모든 기능들을 모두 실시간적으로 수행할 수 있어야 한다는 것이다. 현재의 일반적인 전문가시스템은 고정된 데이터를 off-line으로 이용하는 정적인(static) 시스템이며 문제 해결을 위해서 가용한 모든 법칙들을 rule-firing match 방법으로 추론해 나간다. 그러나 화학공정과 같이 규모가 크고 항상 변화하는 데이터를 실시간적으로 처리해야 하는 상황에서는 기존의 방법을 그대로 적용하는 것은 불가능하며 새로운 형태의 지식 표현방법과 지식 관리 개념 등이 고려되어야 한다.

2-1. 지식 표현(knowledge representation)

지식 표현법에는 시간에 따라 변화하는 지식을 다루는 시차원 지식(temporal knowledge)과 전문가나 운전자의 경험에서 얻는 얇은 지

A FRAME OF KNOWLEDGE
A Frame of Knowledge Includes a Rule, Attributes of the Rule, Inference Control and an Edit History
FRAME

RULE	If P1015>14.7 PSI and if P1015 Rate of Increase per Minute over 2 Minutes >1 then Conclude Tower Flooding Impending and Invoke Rules with Condition Tower Flooding
OBJECTS	Feed to Column B2
CONDITIONS	Feed Composition Disturbance
CREATOR	Fred, Bob
LAST CHANGE	10/17 2:30pm
INFERENCE	Invoke on Focus
SCAN	15 Seconds
PRIORITY	1

그림 3. 공정 지식의 frame 표현.

식(shallow knowledge), 추론실행의 효율화를 기하고 얇은 지식에서 처리할 수 없는 정보를

얻기 위해서 과학적 모델과 공장구조의 분석을 통해 얻는 깊은 지식(deep knowledge), 여러 공정에 공통적으로 적용됨으로써 전문가시스템의 일반성에 영향을 주는 일반적 지식(generic knowledge), 실시간 적용에 중요한 역할을 하며 지식에 관한 지식을 처리하는 메타 지식(meta knowledge) 등이 포함된다. 한편 엔지니어의 지식 베이스 관리를 도와주는 user interface 방식은 schematic diagram과 frame 방법(그림 2, 3)이 많이 쓰인다.

2-2. 지식 관리(knowledge management)

지식 관리 기법은 graphic과 자연언어를 사용하는 지식 편집과 simulation을 통한 failure scenario의 수행에 의한 지식 확인(knowledge validation), 시간변화 개념이 포함된 지식 설명(knowledge explanation)이 포함된다.

인간 전문가는 대규모의 실시간 문제에 직면할 때 일시에 모든 지식을 동원, 처리하지는 않는다. 그는 전반적인 감시를 수행하다가 중요하다고 판단되는 부분들에 대해 초점을 맞춘다. 전문가시스템의 경우 순방향 추론(forward chaining)을 통하여 전반적 감시를 수행하며 문제라고 생각되는 부분에 역방향 추론(backward chaining)으로 집중 감시를 하게

된다. 이러한 개념은 미리 메타 지식에 포함되어 있어야 하며 컴퓨터의 정보 전달 능력 한계 내에서 작동할 수 있도록 설계되어야 한다. 또한 지식의 유효기간 설정과 유효성 상실의 경우의 새로운 지식의 취득 및 이에 관련된 법칙의 활성화 계획의 개념 등이 포함된 진실 유지(truth maintenance) 기능이 있어야 한다. 한편 확실성 계수(certainty factor), Dempster-Shafer 이론, 확률론, fuzzy logic 등을 이용한 불확실성 관리(uncertainty management) 기능이 고려되어야 하고 priority 설정 등을 통한 컴퓨터의 과부하 관리(overload management)도 필요하게 된다.

3. On-line 전문가시스템의 구현

On-line 전문가시스템을 구현하기 위한 hardware는 personal computer에서 engineering workstation, general purpose machine, LISP machine 등을 상황에 따라 다양하게 적용할 수 있다. Personal computer의 경우 아직은 기억용량 등에 문제가 있으나 IBM PS/2나 Macintosh II와 같은 새로운 기종은 이러한 제약조건들을 줄여 나가고 있다. Symbolic 처리와 numeric 처리를 전담하는 Personal Computer들을 설정하고

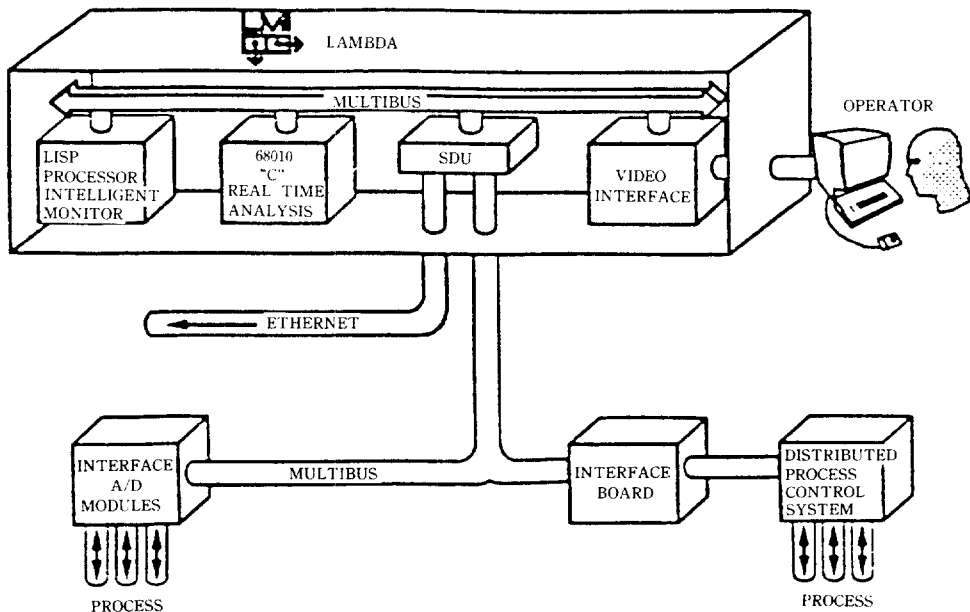


그림 4. PICON의 통신구조.

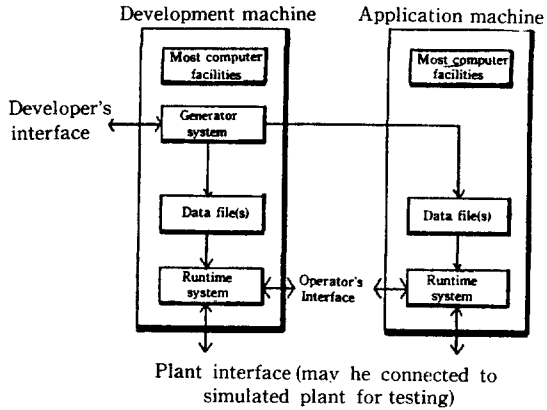


그림 5. COGSYS의 software 구성도.

이들과 기존 시스템간을 link 시켜 on-line 시스템을 구현하는 방법도 소규모 공정이나 적은 범칙을 다루는 경우에는 사용할 수 있다. 대규모 화학공정의 경우에는 기억용량과 처리속도, 병렬 처리(parallel processing)의 해결을 위해 LISP machine이나 engineering workstation을 이용하여 별도의 processor와 연결하고 이들과 기존의 분산 제어 시스템과의 통신망을 구성하는 것이 현재의 일반적 접근 방법이다. 이때 기존 제어 시스템과의 데이터 통신을 위한 interface가 필요하며 이를 통해서 scan basis 등의 통신 정보와 공정 정보가 전달된다. 최근 개발된 PICON 시스템(그림 4)은 on-line 전문가시스템과 기존 통신망과의 병합 구조에 있어서 하나의 표준 방법을 제시해 주고 있다. 이 데이터 수집 및 간단한 추론, 수치계산 등을 위해서 68010 processor를 사용하여 병렬 처리를 한다. 68010 processor는 multi bus를 통하여 기존 시스템과 통신하게 된다. 한편 COGSYS 시스템은 실시간 추론을 위한 software 구성의 좋은 예를 보여 준다. 이 시스템은 그림 5와 같이 generator 부분과 runtime 부분으로 구성되어 있다. 개발자는 generator 시스템을 통하여 적용 공정과의 interface, 관련 지식 및 데이터 등을 설정해 줄 수 있다. Runtime 시스템은 지식베이스 시스템과 통신기능 부분으로 구성되며 지식베이스 시스템의 수행과 외부통신간의 동기화(synchronization)를 수행한다. 또한 추론소요 시간과 이에 따른 시스템 내부의 통신에 대한 영향을 방지하기 위해서 hard interrupt와 soft interrupt 기능을 가진다. Watchdog timer를 이용하여 추론의 정상성 여부를 감시하며 hard

interrupt를 발생시키고 runtime kernel에서 runtime 시스템의 실시간 제어를 수행한다. 정보 처리 및 전달에 따른 부하를 줄이기 위해 1개의 generator 시스템에 여러 개의 runtime 시스템이 연결될 수 있으며 각 runtime 시스템은 통신 software를 이용하여 LAN과 연결 된다.

4. 감시 및 결함 진단에의 응용

DDC와 분산 제어 시스템의 도입은 보다 복잡하고 큰 규모의 화학공정의 보다 효과적인 제어를 가능하게 했으나 공정 운전자에게 엄청난 양의 걸려지지 않은 정보를 부과해 주고 있다. 실제로 화학공정의 중앙 제어실은 수 백개의 계기와 경보 장치로 이루어져 있으며 공정이 비정상이나 전이 상태가 되는 경우에는 응답 변화율의 차이, 공정시간 지연, 제어루프의 간섭, 역응답, 정보 혼란 및 불완전성 등의 요인으로 운전자의 상황 판단과 올바른 진단 조치가 어려워진다. 공정 운전자는 변화하는 공정 추세를 분석하고 그것에 대한 원인을 파악하며 변화를 예측하고 예상되는 바람직하지 못한 효과들을 알아내고 대처해야 한다. 이러한 처리과정을 위한 전문가시스템이 가져야 할 주요 기능은 다음과 같다.

- 정상적 공정 상태의 설명 기능
 - 비정상 운전 상태나 주목할 만한 모든 상황에 대한 감지 및 기록
 - 계기 고장의 진단 및 결함의 분리
 - 문제 발생으로 야기될 공정 상태 전개 및 필요한 제어동작에 관한 제안
 - 현재 추세 및 제어동작에 따라 예상되는 공정 상태 예측
 - 제공된 제안 및 결과에 대한 설명 기능
- 또한 이러한 기능을 위해 고려되는 개념과 기법은 아래와 같다.
- 공정 추세 설명 기능을 위한 자연언어 처리 기법과 공정 변수간의 어의망(semantic network) 해석에 따른 사고 모델(mental model)의 구축
 - Declarative 형태 지식의 imperative 형태로의 변환
 - Digraph 방법 등에 의한 causality 정립
 - 공정변수간의 관계에 대한 구조적, 질적, 양론적 관계 모사
 - Modularity 유지

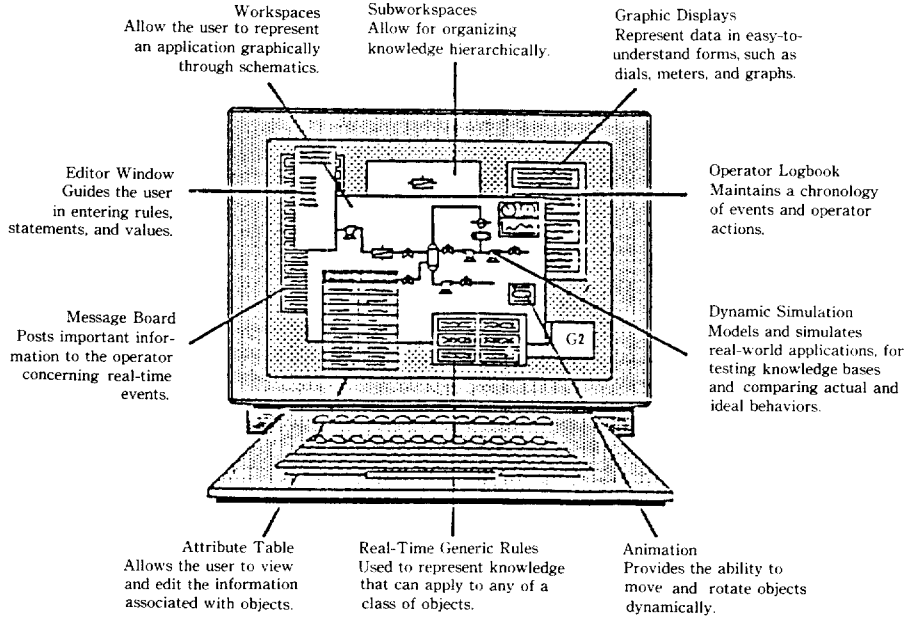


그림 6. 감시 및 진단 시스템의 기능 예.

- 구조적 digraph나 redundant 관계를 통한 모호성 제거
- 공정 추세 분류 및 운전 상태 구분을 위한 기법
- Rule 혹은 model을 이용한 결함 진단 기법
- 질적 모사(qualitative simulation)에 의한 미래 상태의 예측

결함 진단 기법중 rule에 의한 추론은 설명 기능이 우수하고 시스템의 확장과 수정이 용이하며 model을 구하기 어려운 경우에 적합하다는 장점으로 많이 사용되고 있으나 지식 표현이 제한되고 새로운 공정이나 경험하지 않은 상황에 대한 적용이 어렵기 때문에 이의 보완을 위해 frame 형태의 지식 표현법과 model을 이용한 추론 기법의 연구가 늘어나고 있다. 그림 6은 최근 개발된 감시 및 진단 시스템의 예를 보여주고 있다. 최근의 prototype 시스템들의 성공적 적용 결과와 이 분야의 연구에 대한 관심과 열기는 이러한 모든 기능과 개념을 포함한 시스템의 출현을 가속화하고 있다.

5. 제어기에의 응용

현대 제어 이론의 발달은 보다 강인하고 성능이 좋은 제어기의 설계를 가능하게 하였으나 실제 공

정에 적용된 예는 많지 않다. 이러한 이유중의 하나는 이들 이론들이 제한된 성격의 지식, 즉 정확히 정량화 될 수 있는 류의 지식을 사용해야 한다는 데 있다. 전문가시스템은 이러한 가용한 지식의 범위를 확장시켜 줌으로써 기존의 이론들이 갖는 한계를 극복하고 보다 종합, 보완적인 제어 도구를 제공해 줄 수 있다.

5-1. Fuzzy logic controller

Fuzzy control은 인간의 경험을 모델화한다는 점에서 전문가시스템의 방법론과 일치한다. 사용되는 법칙의 형태의 예는 아래와 같다.

- 만약 온도가 설정점보다 약간 높으면 반응물의 양을 약간 줄이고, 많이 낮으면 유량을 많이 줄인다.

위와 같은 개념은 현장 엔지니어의 경험에 의한 개념과 유사하며 이때 '약간', '많이' 등의 모호한 개념에 대한 해석을 위해 membership function 등의 개념을 도입한다. Fuzzy logic controller는 fuzzy predicate가 저장된 data base, 언어적 제어 지식(linguistic control knowledge)이 저장된 rule base를 가지며 fuzzified된 sensor 데이터가 rule base 및 data base와 작용하여 fuzzy action을 실행하고 defuzzification 과정을 거쳐 구체화된 제어동작을 수행한다. Fuzzy logic

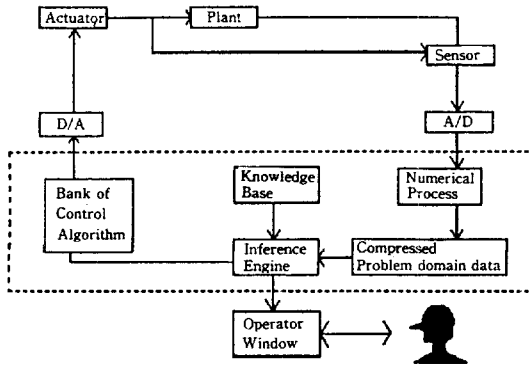


그림 7. Expert controller의 구조.

controller는 공정이 매우 복잡하여 정량적 모델 파악이 어려운 경우나 startup, shutdown 등과 같이 전문가의 manual control에 의존하는 경우에 적용 가능성이 크다.

5-2. 실시간 전문가 조절기(real time expert tuner)

일반적으로 PID 제어를 tuning 하는 경우 Ziegler Nichols 방법이나 Cohen Coon 방법 등을 사용하여 초기 tuning을 한 후 설정점 변화에 따른 공정 응답특성을 원하는 응답특성과 비교하면서 경험에 의한 추론과 형상인식의 사고과정을 통하여 manual로 최종 tuning을 하게 된다. 이러한 과정을 지식베이스에 심어 줌으로써 실시간 전문가 조절기를 구축할 수 있다. Foxboro사의 EXACT는 PID 루프를 공정 모델링이 필요없이 경험법칙을 이용, tuning하는 시스템으로서 전문가 시스템 형태로 개발된 후 microprocessor에 assembly로 저장된 형태로서 현재 여러 화학공정에 널리 쓰이고 있다.

5-3. 전문가 제어(expert control)

전문가 제어(그림 7)는 상호 보완적인 제어 알고리즘들을 전문가시스템을 이용하여 공정 운전 상황에 따라 선택함으로써 가장 강력한 제어기능을 발휘한 제어 시스템이다. Astrom 등은 여러가지 algorithmic기법(감시, 제어, 매개변수 추정, 제어기 적용)과 공정의 비선형, 외란 동특성 등의 질적 특성에 관한 논리들을 결합시킨 복합형 전문가 제어의 idea를 제시했다. 이러한 제어 시스템은 자신이 선택한 제어 전략에 관한 설명이 가능하기 때문에 우리는 어떠한 제어기법이 수행 중이며,

선택된 이유 및 현재의 공정상태, 제어 변수 변동의 정상 여부 등에 관한 대답을 얻을 수가 있다. 현재 prototype system이 설치되어 시험 중에 있다.

5-4. 전문가 다변수 제어기(expert multivariable controller)

화학공정의 특징 중의 하나는 여러 변수들이 서로 상호작용하는 다변수적 특성이다. 그러나 다변수 제어는 모델오차와 비정상적 상태에 민감하다는 문제점으로 인해 실제 공정에서는 SISO 루프로 제어하는 것이 많다. 따라서 SISO 시스템의 전문가 제어기의 기능에 sensor나 actuator의 고장시의 진단과 최적 루프 결정기능이 추가된 전문가 다변수 제어기를 도입함으로써 다변수 제어의 실용화를 용이하게 할 수 있다.

6. On-line 최적화에의 응용

화학공정에서의 on-line 최적화에 관한 연구는 지난 10여년간 꾸준히 계속되어 왔다. 그러나 정확한 공정 모델을 구하기가 어려울 뿐만 아니라 on-line 수행을 위한 단순화 모델에서 야기되는 모델 오차 문제와 제한조건의 정확한 파악의 난점, 제어기의 성능 한계 등이 실제 적용 상의 장애요소로 작용하고 있다. 기존의 고정적이고 수치적인 방법의 경우 운전자는 그 해가 왜 최적치인가에 대한 이해가 어려우며 더구나 자신의 경험적 해가 더 최적에 가깝다고 느낄 수도 있다. 모델의 설정이 어려운 복잡한 공정의 경우에도 숙달된 운전자나 전문가의 경험에 의해서 최적 운전에 접근할 수 있으며 이러한 경험적 탐색 방법을 전문가시스템에 의해 활용할 수 있다. 예로서 fuzzy logic에 의한 경험적 탐색 방법은 'adaptable rule table' 내의 rule들과 알고 있는 fuzzy variable들을 비교하여 최적점에 가까운 rule들을 선택해 나가는 방법으로서 FCCU에의 적용 연구(그림 8)에서 좋은 결과를 제시해 주었다. 한편 수치적 방법에 의해 나온 해를 해석, 수정해 주고 보다 실제적 최적점으로 접근시켜주는 시스템도 기존의 최적화 기법과 결합하여 좋은 가능성이 기대되고 있다.

7. Planning과 Scheduling에의 응용

주어진 초기 상태와 원하는 목표 상태가 있을 때

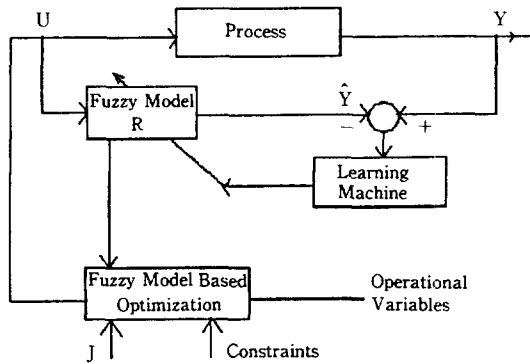


그림 8. Fuzzy model을 이용한 on-line 최적화.

이들간의 gap을 제한요소를 만족하는 일련의 운전 을 수행함으로써 해결해 주는 것이 AI에서의 planning 개념이며 이러한 개념은 화학공정의 운전 순서 결정에 확장될 수 있다. Startup, shutdown, changeover, emergency fallback 등의 공정운전은 문제가 정확히 정의되기 어렵고 복잡한 다중 목적 함수의 성격을 띄고 있기 때문에 순수한 수치적 접근이 어렵다. 이와 관련하여 Lakshmanan 등은 planning 기법과 최적화 기법이 결합된 방법을 제시하고 있다. 첫 단계에서는 원시문제를 다루기 쉬운 일련의 중간 planning 문제로 분해한 후, 목표 지향적 운전전략에 따라 각 분해 계층에서의 운전 순서를 결정하고, 운전 종류와 우선적 제한조건의 선정과정과 지식의 계층적 표현 및 운전의 모델링 과정을 거친 다음 두번째 단계에서 축소된 최적화 문제를 풀게 된다. 현재 이러한 공정운전의 계획이나 수행은 전적으로 전문가의 경험이나 운전 manual에 의존하고 있는 상황이며 예상되는 경제적 효과가 매우 크기 때문에 체계적인 운전 순서 합성 및 이의 on-line 자동 구축과 공정 상태변화에 따른 on-line planning과 scheduling을 위한 전문가시스템의 개발이 크게 기대되고 있다.

8. On-line 전문가시스템의 개발 예

전문가시스템은 이제 학문적 관심 대상에서 중요 공정기술의 위치로 급속히 변모하고 있다. 실제로 DuPont사의 경우 전문가시스템 전담부서를 통해 매년 1000명 이상의 엔지니어가 교육 받고 있으며 소규모에서 대규모에 이르는 다양한 전문가시스템을 개발하여 업무에 활용함으로써 연간 약 150만달러의 이득을 얻는다고 한

다. 현재까지 개발된 주요 시스템들은 다음과 같다.

- ECHOS(Ethylene Cracking Heater Operation maintenance support System)은 Osaka Petro Industry의 300,000t/yr ethylene plant에 1987년 봄부터 설치되었으며 공정의 비정상 상태 감지와 결함 진단을 수행하는 시스템이다.

- FALCON(Fault Analysis CONSULTANT)은 DuPont, Foxboro Co, Univ of Delaware가 합작으로 개발하여 DuPont사의 adipic acid 공장에 설치되었으며 현재 약 450개의 명제와 500개의 법칙을 이용하여 45개의 장치에 대한 결함 진단을 해 주고 있다.

- PICON(Process Intelligent CONTROL)은 on-line 전문가시스템을 위한 전문적인 shell로써 집중기능(focus mechanism)을 갖추고 제어용 컴퓨터와의 intelligent 통신이 가능하며 순방향, 역방향 추론을 이용한다. BASF사의 Ludwigshafen petro complex와 Texaco사의 Port Arthur Texas 화학공장 등에서 활용중이다.

- G2는 동적 모델링 개념을 이용하여 공정을 제어, 감시하는 시스템으로서 지식 베이스 구축이 용이하고 추론 전략이나 지식 관리기능 및 제어용 컴퓨터와의 intelligent 통신이 가능하다. 현재 약 20여개의 공장에 설치되어 시험중에 있다.

- Honeywell사에서는 TDC 3000 시스템과 병합된 전문가시스템을 개발중이며 이외에도 다수의 공정제어 기기 회사들이 이 분야에 참여하고 있다.

- Alvey Research Project는 영국의 23개 기업체가 공동으로 수행하여 ICI사의 wilton complex 회분공정에 응용되고 있는 운전지원 시스템에 관한 계획이다.

- BEXS는 일본의 Fuji Facom사와 Komatsugawa Chemical Engineering사가 공동으로 개발한 생화학 공정을 위한 진단, 감시 시스템이다.

- CAM(Causal Monitor)은 sensor의 결함을 진단해 주는 시스템이다.

- PDS는 순방향 추론을 이용하는 rule based system으로서 sensor 정보의 해석과 진단을 수행한다.

- LMA(Logic Machine Architecture)는 Argon National Laboratory에서 개발한 제어기능 재배치를 위한 시스템이다.

- ESCORT(Expert System for Complex

Operation in Real Time)는 데이터 분석과 결함 진단을 위한 shell이다.

— RITSE(Reactor Trip Simulation Environment)는 운전동작의 안전성 결과를 평가해 주는 시스템이다.

9. 결 론

지난 20년간에 걸친 전문가시스템 관련 hardware와 software의 발전은 이 분야를 상용화된 기술로 변모시키려 하고 있다. 화학공정에서의 on-line 전문가시스템의 응용은 공정 감시 및 결함 진단 분야를 시초로 하여 활발히 진행되고 있으며 제어기 분야와 on-line 최적화, planning과 scheduling 등의 분야에서의 실용화시기를 앞당기려 하고 있다. 현재까지 개발된 전문가시스템들은 운전자와 전문가의 지원 시스템으로서의 기능을 수행하는 수준이고 화학공정의 개별 기술계층에 부분적으로 적용되고 있는 양상이지만 궁극적으로는 전체 기술계층에 총체적으로 적용되는 종합적 시스템으로 발전할 것이며 그 기능 또한 보다 전문가에 접근된 모습으로 나타날 것으로 기대된다. 이를 위해서는 다양한 지식간의 조화, 지식 확인기법, 학습기법, 자연언어 이해, 실시간 추론 관련기법 등에 대한 더욱 큰 연구진전이 있어야 할 것이다.

참고문헌

1. Astrom, K.J.: 'Auto-Tuning, adaptation smart control', Proc of 3rd Int Conf of Chemical Process Control, 1986.
2. S. Abu El Ata-Doss: J. Brunet 'On-line expert supervision for process control', Proc of 25th Conf on Decision Control, 1986.
3. Basta, N.: 'Expert systems', Chemical Engineering March 14, 1988.
4. Berenji, H. and Henry Lum, Jr.: 'Application of plausible reasoning to AI-based control system'. Proc of ACC, 1987.
5. Buenzli, C.W.: 'Summary of Research activities AAA-I-workshop on AI for Process Instrument Monitoring Control', AAAI-86, Philadelphia, PA, 1986.
6. Grezesiak, F., et al.: 'Towards the development of a real-time expert system for process control', Proc of 25th Conf on Decision Control 1986.
7. Kane, L.A.: 'AI and MAP in the processing industries' Hydrocarbon Processing, June, 1986.
8. Kramer, M.A.: 'Expert system for process fault diagnosis: A general framework', Proc of 1st Int Conf on Foundations of Computer Aided Process Operations, 1987.
9. Kraus, T.W.: 'Self-tuning control using an expert system approach', Measurements Control, June, 1985.
10. Mamdani, E.: 'Applications of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant', Proc IEE, 121(12), 1974.
11. Moore, R.L., et al.: 'Expert systems methodology for real-time process control', Proc of 10th World Congress on Automatic Control, 1987.
12. Moore, R.L. and Kramer, M.A.: 'Expert systems in on-line process control', Proc of 3rd Int Conf on Chemical Process Control, 1986.
13. Ornedo, R.S., et al.: 'Design and experimental evaluation of an automatically reconfigurable controller for process plants', Proc of ACC, 1987.
14. Pietrarski, J.F., et al.: 'Expert fuzzy process control of a rotary dryer'. Proc of 10th IFAC Symp on Automatic Control, 1987.
15. Shaw, R.: 'Reasoning in real time', Control & Instrumentation, Sept, 1988.
16. Stephanopoulos, G.: 'The scope of artificial intelligence in plant-wide operation', Proc of 1st Int Conf on Foundations of Computer Aided Process Operations, 1987.
17. Tzonanas, U.K., Unger, L.H., and Georgakis, C.: 'Towards on expert multivariable controller', Proc of 10th IFAC on Automatic Control, 1987.
18. Yamashita, Y., Matsumoto, S., and Suzuki, M.: 'Start-up of a catalytic reactor by fuzzy controller', *J. of Chem. Eng. of Japan*, 21, 3, 1988.
19. Yong-Zai Lu: Buo-ming Zhou 'Computer control of a reactor-regenerator system in fluidized catalytic cracking unit: A case study', Proc of 10th IFAC Symp on Automatic Control, 1987.
20. Zadeh, L.: 'Outline of a new approach to the analysis of complex systems Decision Processes', IEEE Transactions on System: Man and Cybernetics, Vol. SMC-3, No. 1, Jan, 1973.