

인공지능 기술과 산업 공정 제어

김 명 원 · 황 승 구
(한국전자통신연구소 선임연구원)

1. 서 론

Compter의 출현 이후 인간은 어떻게 computer를 유용하게 사용할 수 있을 것인가에 대하여 꾸준히 연구해 왔으며 그 결과 여러 분야에서 computer는 routine 적이며 반복적 단순작업을 하는 데 있어서 인간을 대신하거나 혹은 인간의 조력자로서의 역할을 훌륭히 수행하게 되었다. 여기서 진일보하여 인간은 computer가 보다 지적 능력을 필요로 하는 작업도 수행할 수 있도록 시도하게 되었으며 그 결과 인공지능학이라는 새로운 분야가 탄생하게 되었다. 최근 인공지능은 대학의 실험실에서나 연구되던 기술적 수준을 넘어서 산업적 응용에 그 세력을 확장하기 시작하였다. 인공지능의 기술을 이용한 보다 지능적인 computer 시스템이나 장비들이 속속 개발되어 여러 응용 분야에서 사람대신 작업을 수행하거나 최소한 사람이 하는 일을 보조함으로써 작업의 능률을 높이는 데 기여하고 있다. 예를 들면, 복잡한 장비의 유지 및 관리를 위하여 고장의 정확한 원인을 조기에 발견하고 그 대응책을 마련하는 데 있어 인간 전문가와 동등하거나 그 이상의 능력을 발휘하는 전문가 시스템이 이용되고, 정밀한 시각 장치가 부착된 robot가 부품을 판별하고 조립하거나, 완성된 제품을 검사하는데 숙련공보다 더 빨리 그리고 정확성을 가지고 수행한다든가, 사람의 음성을 인식하고 명령을 이해할 수 있음으로써 제조 공장의 현장에서 기계 혹은 computer에 작업을 지시하거나 제어하는데 있어 자연어를 사용하는 것 등이 그것이다. 이미 인공지능 기술은 산업공정 제어 분야에 활발히 응용되기 시작하여 제품의 생산

성 및 품질의 향상에 크게 기여하고 있으며, 이와같은 추세는 산업분야 전반에 걸쳐 일고 있는 자동화의 요구에 부응하여 더욱 가속화 될 것으로 전망된다.

본고는 인공지능 기술이 특히 산업 공정 제어 분야에 응용되는 것에 대하여 기술한다. 그 내용은 크게 두 부분으로 나뉘어져 있으며, 처음 부분은 인공지능에 대하여 개괄적으로 기술하고 특히 산업 공정 제어 분야와 관련되는 인공지능의 기술에 대하여 설명한다. 다음 부분은 산업 공정 제어라는 응용 분야의 특수적 상황을 설명하고 인공지능 기술이 실제로 어떻게 이 특수적 상황에 응용될 수 있는가에 대하여 기술한다. 단, 여기서는 인공지능이 생산성 및 품질의 향상을 위하여 산업 공정 제어분야에 어떻게 응용되는가에 대하여 간략히 소개하며, 결코 기술적으로 상세한 내용을 기술하는 의도가 아님을 밝혀두고자 한다.

2. 인공지능이란 무엇인가?

인공지능을 한 마디로 정의하기는 어려우나 대체로 다음과 같이 말할 수 있다. 인공지능이란 "computer science의 한 분야로서 특히 인간의 지능을 요하는 기능들을 computer에 실현하는 방법에 대한 연구"이다! 다시 말하면, computer라는 기계를 인간과 같이 보고, 듣고, 말하고 그리고 생각하고 학습할 수 있도록 만드는 것이다.

(인간의) 지능이란 무엇인가?

인간에게 지능이 있는가 없는가?

기계적인 방법으로 지능을 구현하는 것이 결코 가능한가?

등의 문제는 특히 심리학, 철학, 언어학 등의 분야에서 많이 연구되어 왔으나 아직 어떤 명확한 결론이 내려져 있지 않으며 이들은 각기 독자적인 관점과 방법에 입각한 상이한 이론을 제시하고 있다. 그러나 인공지능학에서는 인간의 지능을 실현하는데 있어 computer를 사용한 system을 구현하여 그 system의 기능 내지 특성이 인간지능의 그것과 동일하거나 유사함을 보임으로써 인간의 지적능력(만약 있다면)이 기계적 방법으로 구현 가능함을 제시하고자 한다. 예를 들어, 한 내과 의사가 환자의 병을 진단하고 치료하는 경우를 가정하여 보자. 그 의사는 자기의 의학적 전문 지식과 경험적 지식에 근거하여 환자의 증세 및 병력등을 나타내는 여러가지 자료를 분석 검토하여 병명을 판단하고 이에 따른 적절한 처방 및 치료방법을 제시할 것이다. 이때 우리는 그 의사가 하나의 전문가로서 의료활동을 수행하는데 있어서 - 적어도 외적으로 관찰되기에는 - 고도의 지적 능력을 발휘한다고 생각한다. 인공지능에서는 computer 시스템(주로 소프트웨어)을 program하여 그 시스템이 환자의 임상적 자료를 입력으로 하여 병을 진단하고 치료 방법에 대한 제안을 하도록 함으로써 전문가 시스템이라고 하는 computer 시스템이 의학적 진단이라는 지적 능력을 수행할 수 있음을 보여준다. 이때 system을 program하는 데 있어서 의사가 가지고 있는 지식 즉 의학적 개념들, 그들의 상호관계 그리고 추론적 지식등이 어떤 자료구조의 형태로 표현되어 computer에 저장되며 - 이것을 지식 베이스(knowledge base)라 부른다 - 환자의 임상자료가 자료구조의 형태로 변환, 입력되면 추론기관(inference engine)은 지식 베이스의 추론적 지식을 연쇄적으로 동작시킴으로써 여러 추론 단계를 거쳐 최종적으로 병명 혹은 치료법에 대한 결론을 내리게 된다. 이때 이 system은 실제 의사와 같이 판단을 내리는 데 있어 새로이 필요한 정보가 있으면 그에 대한 질문을 하기도 하며, 왜 그러한 정보가 필요한가라든가 혹은 어떤 중간 단계의 결론에 대하여 어떻게 그 결론에 도달하게 되었는가등의 질문에 대하여 답변하기도 한다. 이러한 전문가 시스템은 충분히 잘 설계되고 지식이 잘 세분되고 광범한 것일 때 인간 전문가에 상당하거나 때로는 그 이상의 성능을 발휘하게 되며 전문가 시스템은 인간 전문가를 대처할 수 있게 되는데

이때 우리는 인간의 지적 능력의 일면 즉 전문지식 활동이 computer에 의하여 실현되었다고 말할 수 있게 된다.

인공지능은 그 출현(1950년대) 이후 주로 대학의 연구실에서 이론적이거나 대부분의 경우 현실적 문제와는 거리가 먼 game playing, puzzle 혹은 매우 제한되거나 간소화된 상황에서의 문제 해결을 - 예컨대 blocks world - 대상으로 하여 최근까지만 해도 크게 각광을 받지 못하였다. 그러나 이제 인공지능은 실험실 연구에서 벗어나 그 연구결과가 실제적 문제의 해결에 많이 이용되게 됨으로써 이미 상업적 시장에 발을 들여놓게 되었다. 이와같은 발전의 원동력은 특히 전문가 시스템(expert system)이라는 기술이 여러가지 문제에 성공적으로 응용되고 대규모의 복잡한 인공지능 program을 수용할 수 있는 computer가 적정가격으로 보급될 수 있는데 기인한다.

인공지능은 그 계산방법에 있어서 재래식 계산방법과 상이하며 그 중요한 특징을 열거하면 다음과 같다.

1) 재래식 계산 방법은 주로 수치적 계산인 데 비하여 인공지능에 있어서는 기호처리(symbolic processing)가 위주이다. 그 이유는 인간이 기호적으로 사고하는 경향이 강하며, 지적 능력이 수치보다는 기호를 다루는 능력에 더 기초를 두고 있다고 생각되고, 인공지능은 인간의 지능을 computer로써 simulation하는 것이기 때문이다.

2) Computer를 이용한 재래식 문제 해결의 방법으로는 알고리즘을 사용하는데 반하여 인공지능에서는 휴리스틱(heuristics)을 사용한다. 알고리즘은 시발점과 종료점이 분명히 정의된 단계적 procedure로써 그 procedure에 따라 알고리즘을 수행하였을 때 문제의 해결이 보장되는 반면, 휴리스틱을 사용한 방법은 알고리즘 방법에 비하여 일반적으로 효율적이기는 하나 문제의 해를 보장받을 수 없는 단점이 있다.

3) 재래식의 수치계산 문제에 있어서는 수의 연산기능이 기본이다. 즉 복잡한 문제라 하더라도 수치와 수치와의 연산, 비교 결과에 따른 다음 연산의 선택등 기본적인 기능의 적절한 배합에 의하여 수행된다고 할 수 있으나, 인공지능에서의 계산은 pattern matching이 기본이며 대부분의 인공지능 system들은 이와같은 pattern matching에 기초하고 있다.

이와같이 인공지능은 computer science의 한 분야로

서 그것이 대상으로하는 문제의 성격 및 그 해결 방법에 있어 재래식의 그것과 상이하지만 여러가지 실제적 문제를 효율적으로 해결함으로써 최근 크게 각광을 받고 있는 첨단 기술중의 하나이며 그 응용 가능성이 실로 다양하다 할 수 있다.

3. 인공지능과 산업 공정 제어

인공지능학은 그 연구의 대상, 방법등에 따라 다시 여러 분야로 나누어지며 그중 특히 산업 공정 제어와 관련되는 분야를 열거하면 다음과 같다.

- 전문가 시스템 (Expert Systems)
- Robotics와 Computer 시각(vision)
- 자연어 처리(Natural Language Processing)

다음에 각 분야별로 연구의 대상 및 방법등에 대하여 간략히 소개하고 산업공정 제어에의 응용가능성 및 문제점에 대하여 검토하고자 한다.

1) 전문가 시스템

이 분야는 최근 수년동안 인공지능중에서도 가장 각광을 받고 있는 분야로서, 인공지능이 일반 사람들의 관심의 대상이 되게한 주 요인이다. 전문가 시스템은 어떤 특정 분야에서의 인간 전문가에 상응하는 성능을 발휘하는 computer system으로서 대개의 경우 인간 전문가가 유용하지 않거나 인간 전문가를 고용하는데 비용이 많이 드는 분야에 적합하다.^{2,3)} 전문가 시스템을 구현

하기 위해서는 첫째로 해당 문제 분야의 실제 전문가와 면담을 통하여 그 전문가가 가지고 있는 전문지식-문제 분야의 이론적 내지 추론적 지식등-을 습득하여야 한다. 이때의 면담자를 지식공학자(knowledge engineer)라고 부르는데 지식공학자의 역할은 전문적 지식을 잘 구성하여 computer에 적합한 형태로 표시하는 일이다. 이와같이 하여 computer에 저장된 전문적 지식에 해당하는 부분을 지식 베이스(knowledge base)라고 부르며 대개 지식은 조건부와 결론부와 구성되는 규칙의 형태로써 표현된다. 예컨대, 자동차 고장진단에 관한 한 전형적 규칙을 보면,

조건부 : starting engine has trouble and
starter can crank engine and
engine is receiving gasoline

결론부 : check for ignition problem

와 같은 형태로 될 수 있다. 이와같이 문제 영역에 대한 지식을 규칙 형태로 표현하는 데는 인간이 이해하기 쉬울 뿐만 아니라, 규칙형태가 매우 modular하므로 변경이 용이하고, system이 내린 결론에 대한 설명을 쉽게 생성해 낼 수 있는 등의 장점들이 있다.

다음 그림은 전형적인 전문가 시스템의 구조를 도시하는 것으로써 전문가 시스템내에는 추론기관, 지식 베이스, 작업공간(workspace), 사용자 인터페이스, 추론 설명 subsystem 및 지식 습득 subsystem등을 포함한다.⁴⁾

추론기관은 computer program으로써 지식 베이스의

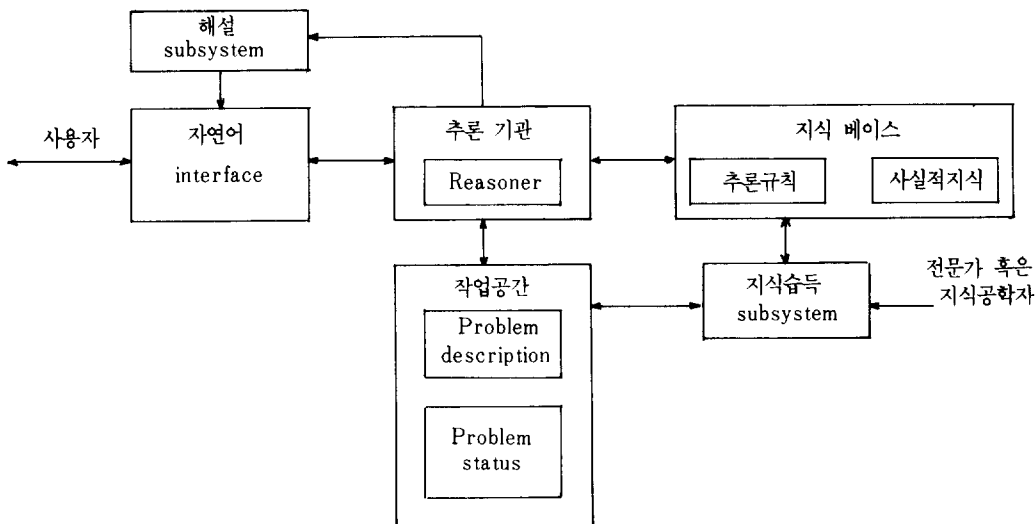


그림 1.1 전문가 시스템의 구성도

규칙들을 선택적, 연쇄적으로 동작시킴으로써 전문가 시스템의 추론 기능을 제어한다. 추론기관은 일반적으로 지식 베이스와 분리되어 있다. 작업공간은 문제의 기술을 위해 따로 마련된 기억공간으로서 문제의 기술은 사용자가 제공한 사실적 기술 혹은 지식베이스의 지식들로부터 새로이 유도된 것등으로 이루어진다. 사용자 인터페이스는 전문가 시스템과 사용자간의 대화수단으로써 흔히 자연어 처리능력을 말한다. 해설 subsystem은 전문가 시스템의 추론과정을 추적하여 “어떻게 특정한 결론을 내리게 되었는가?” 혹은 “왜 사용자에게 어떤 특정한 질문을 하는가?” 등과 같은 질문에 대한 답을 생성한다. 지식습득 subsystem은 전문가 혹은 지식공학자들이 전문지식을 지식 베이스에 입력하는 system으로 주로 메뉴가 가능한 터미날을 통하여 수행된다.

추론기관이 수행하는 추론방식에는 두 가지가 있는데, 전향적 추론과 후향적 추론이 그것이다. 전자가 선택된 추론규칙의 조건부가 만족될 때 결론부에 해당하는 결론을 내리는 데 비하여 후자는 결론부에 해당하는 결론을 얻기 위해 조건부의 조건들을 만족해야 하며 이 새로운 조건들은 다음 단계의 추론이 유도하여야 할 결론으로서 작용하게 된다. 전자가 data주도형인 데 반하여 후자는 목적주도형이라고 말할 수 있다.

전문가 시스템은 다양한 분야에 성공적으로 응용되고 있다. 대표적 성공케이스는 장비의 고장 진단 분야이다. 이 분야의 전문가 시스템은 장비의 유효시간과 유지 비용을 절감하기 위하여 기술자가 기계의 고장을 진단하고 수리하는 일을 돕는다. 장비들로서는 터어빈, PLC, computer, 제트엔진, 전화 cable 및 자동차와 같은 것들을 포함한다. 전문가 시스템은 제조 공장 현장에도 사용될 수 있는데 작업하는 사람들이 기계를 운전하는 일을 보조하게 된다. 전문가 시스템은 주 오퍼레이터 스테이션에 항상 같은 수준의 전문가의 서비스를 제공하는 외에 공장관리에 필요한 다양한 정보도 제공하게 된다. 공정계획 전문가 시스템은 실제로 공장이 완공되기 전에 공장 floor 관리를 설계하거나 제조 공정을 simulate 하고 진단하는 데 사용될 수 있다. 이와같은 시스템 설치에 대한 비용은 제조 계획기간 단축과 제품의 질을 향상시킬 수 있으므로써 충분히 쉽게 보상받을 수 있다.

일단 공장이 완공된 후에도 그 공장은 제조공정의 적절한 관리를 위한 지식기반형의 스케줄링 시스템에 의

하여 운영되게 된다. 이외에도 전문가 시스템은 유연성 있는 생산체제를 현장에서 발생한 어떤 변화에 실시간적으로 대응할 수 있도록 감시, 조정하는 역할을 수행할 수도 있다.

전문가 시스템을 구현하는 데 최근 많은 tool들이 사용되고 있다. 이와같은 tool들은 대개 그림 1.1에서 도시한 전문가 시스템의 구성도에서 지식 베이스와 작업공간이 비어 있는 것과 같은 구조를 갖는다. Tool들은 대상문제에 따라 지식습득 subsystem을 통하여 그에 대한 지식 베이스를 구축하도록 지원한다. 새로운 지식 베이스가 구축되었을 때 전문가 시스템을 run하기 위하여 구체적인 문제에 대한 기술이 입력되면 작업 공간을 형성하게 된다. 이와같은 tool들은 추론기관과 지식 베이스를 분리함으로써 단순히 지식 베이스만을 교체함으로써 새로운 전문가 시스템을 얻을 수 있도록 지원한다. 이러한 전문가 시스템 tool들은 지원하는 추론방식, 지식표현 방식, 사용자 인터페이스, 규칙 수정 지원 등의 면에서 다양하며 main frame으로부터 PC에 이르기까지 광범위한 computer 기종에 유용한 상품들이 적정가격으로 보급되고 있다.

2) Robotics와 Computer 시각

Robot와 computer 시각은 기계가 인간과 같이 보고 움직이는 것을 내용으로 하는 영화나 책을 통하여 사람들의 많은 관심을 끌어들였다. 그러나, 이 분야에 있어서의 현재의 기술 수준은 인간의 그것보다 훨씬 열등한 것이다. 사실상 시각 그리고 다른 감각 기관과 인간의 행동을 연결한다는 것은 인공지능에서도 가장 어려운 문제중의 하나이다. 그 한 이유는 아직도 인간의 시각이나 다른 감각 기관이 어떻게 동작하는가 그리고 어떻게 기계를 외부 환경에 적응시키느냐 하는 방법에 대하여 잘 이해하고 있지 못하기 때문이다. 그러나 robot 기술은 용접, 부품포지션닝, 어셈블리 그리고 페인팅 등의 분야에 있어서 상당히 발달되었으며 이와같은 응용분야는 자동차, 전자 전기기기, 금속가공, 항공우주 및 플라스틱 공업등에서 흔히 볼 수 있다.

Robotics분야와 같이 computer 시각 분야도 공업 제품의 품질 향상을 위한 노력으로 인하여 꾸준히 성장하여 왔다. 최근까지만 해도 대부분 사람들이 제품검사를 해 왔으나 요즘은 특히, 자동차, 전자공업에서 computer 시각을 이용한 제품 검사가 증가 추세에 있

다. 현재 computer 시각 시스템이 robot와 함께 사용되는 경우는 드물지만 최근 Texas Instruments 사는 robot팔과 computer 시각-pattern 인식과 화상정보 처리 기술을 이용함으로써 결합하여 사람보다 세배나 빠른 속도로 제품을 검사할 수 있는 시스템을 개발하였다.

3) 음성 인식과 자연어 처리

인간의 음성을 인식하고 합성하는 기술은 인간과 기계와의 대화수단을 풍부하게 하는 것으로 산업분야에서 점차 많이 응용되고 있다. 예컨대, 제어실에 있는 경종이나 경보등이 음성 출력시스템으로 대체되고 있다. 공장이나 창고에서도 수작업으로 자료를 입력할 필요를 없앴으로써 제고관리나 품질검사등의 업무를 좀 더 신속히 처리할 수 있게 한다. 현재 음성 입출력 분야의 연구는 특수한 화자에 구애받지 않고 연속적 발음을 인식할 수 있는 음성인식 시스템을 개발하는 데 주력하고 있다.

인간과 기계와의 인터페이스를 위해 인공지능이 사용되고 있는 또 다른 분야가 자연어 처리 기술이다. 자연어 처리 기술의 발달로 사용자는 딱딱하고 이해하기 어려운 computer 명령어를 사용하는 대신 한국어나 영어와 같은 자연어를 사용하여 기계와 대화할 수 있다. 또 자연어를 사용하게 되면 자주 사용하지 않는 시스템을 위해 여러가지 명령어를 배울 필요도 없게 된다. 그러나 자연어를 이해할 수 있으려면 자연어가 사용된 배후 상황을 알아야 하고 또 자연어에 내재하는 모호성을 해결할 수 있어야 하는데 이 분야의 기술이 진보하여 이제는 더 풍부한 어휘와 같은 의미를 여러가지 다른 형태로 표현할 수 있는 유연성을 갖는 자연어 처리 시스템이 가능하게 되었다. 또한 robot 제어기와 같은 제어 시스템에 자연어를 사용한 인터페이스에 대한 연구도 시도되고 있다.

위에서는 인공지능 기술중 산업 공정 제어분야에 실제로 응용되고 있거나 앞으로 그 활용이 크게 기대되는 분야에 대하여 기술하였다. 이외에도 기계학습(Machine Learning)은 어떤 computer system이 동일한 작업을 반복 수행함에 따라 혹은 훈련을 받음으로써 그 성능을 스스로 향상시키는 기능을 말하며 이 분야도 앞으로 제어분야에 크게 응용될 수 있는 기술중의 하나이다. 최근 많은 관심을 모으고 있는 신경망(Neural Network)

표 4.1 산업 공정제어용 인공지능 시스템

제조회사 및 모델	제품 형태	내용
Action Instruments A-PAC BC-3	제어 S/W	AI형 모델링을 위해 rule-based 프로그래밍과 data base를 이용
Analog Devices IVS-100	Vision System	Model-based vision S/W, 영상 입력보드 및 전용 프로세서 사용
ASEA Ind. Sys NOVATUNE	Process controller	여러부하 조건에 따른 최적값들을 찾아가는 프로그램을 사용한 다중 loop 적응 제어기
Foxboro EXACT	Process Controller	프로세서의 변동에 따라 PID값들을 조정하는 지식 베이스 공정 제어기
CONSULTANT	Expert System	distillation columns, compressors 등을 위한 제어구조 설계
LISP Machine Inc. PICON	Expert System	LISP으로 쓰여져 있으며 LAMBDA프로세서에서 동작될 수 있는 실시간 제어 Expert-system. 20,000개의 변수 감시 및 정보분석 기능.
RTIME	Interface S/W	data acquisition system이나 distributed control system 등과 같은 실시간 공정에 어떠한 LISP 프로그램이나 전문가 시스템을 연결해 줌. C로 프로그램되어 있으며 68010에서 동작
Octek 20/20	Vision System	Octek 2000Image Analysis Processor, LSI 11/23 microcomputer 및 S/W를 포함하는 vision 개발시스템.
Taylor Instrument Intelligent alarm monitoring system	Expert System	경보와 공정 상태의 감시 및 분석. VAX에서 동작

computer는 그 구조가 인간두뇌와 유사하며 계산방식이 재래식(von Neumann) computer와는 크게 다른 것으로 특히 병렬처리(parallel processing)와 학습이 가능함으로써 지금까지 재래식 계산방식에 따른 제반 문제점을 효율적으로 해결할 수 있을 것으로 기대되며 이 분야의 기술이 산업 공정 제어분야에 응용되는 것 또한 크게 기대된다.

4. 제조 산업에의 응용 예

지금까지 우리는 인공지능 기술에 대해 개괄적으로 살펴보았으며, 특히 앞절에서는 산업 공정 제어 분야에서의 응용 대상의 예와 그 가능성을 설명하였다. 이 절에서는 여러 인공지능 기술중 전문가 시스템을 적용한 제조 산업 공정 제어 시스템의 몇가지 예를 살펴보기로 한다. 우선 일반 산업 공정 제어의 특성을 간단히 기술하고 이에따른 제조 산업 제어의 일반적 구조와 그 구조에 따른 전문가 시스템의 적용 방법등을 간단히 살펴본다. 일반 산업에 적용되고 있는 인공지능시스템중 현재 상품화되어 있는 것은 표4.1과 같다.

산업 공정제어란 일반적으로 말해서 주어진 동작 범위내에 대상 공정이 운전되도록 감시, 유지하는 방법을 말한다. 따라서, 산업 공정 제어를 담당하는 시스템은 대상 공정의 동작 및 주변 상황을 종합적으로 분석, 검토하여 높은 성능을 나타낼 수 있는 적절한 판단을 내릴 수 있어야 하며, 이 판단에 따라 최적의 제어기능을 수행할 수 있어야 한다. 여기서, 상황이란 센서에 의해 감지되는 공정의 상태, 설계시 사용된 공정의 모델 및 관련된 환경의 정확한 지식등에 의해 이론적으로 정의될 수 있다. 그러나, 실제적으로는 모델이나 환경에 대한 정확한 지식을 얻는다는 것은 불가능하기 때문에 이미 알려져 있는 부분적 지식, 운전시 앞단계의 동작과 반응 및 엔지니어의 경험등에 의해 상황은 정의되어야 하며, 이러한 상황에 따라서 지능적으로 동작할 수 있는 공정 제어 시스템이 설계되어야 한다. 이와같은 산업공정제어의 특성을 만족하기 위한 제어 시스템은 다음과 같은 기본적 조건을 갖추어서 여러 발생하는 문제를 지능적으로 해결할 수 있어야 한다.

- 기존의 개념에 근거를 둔 기본적 제어 기능의 수행
- 예측하지 못한 동작이나 모델의 부정확성에 따른 문

제점의 해결 및 원인 분석

- 위급한 상황, 모델의 엄밀성등에 의해 과도하게 제한된 문제의 완화
- 가능한 관측과 동작 결과와의 비교
- 모순되거나 상반된 상황에서의 적절한 조치
- 전체적인 일관성을 유지키위한 차후 동작에 대한 재계획

위에서 언급한 사항을 만족할 수 있는 시스템은 기존의 고전적 방법만으로도 일부 구현되어질 수 있으나 높은 성능에 대한 요구, 현재에 발생하는 여러 기술적인 문제들의 해결을 위해 computer와 관련된 방법론과 시스템 이론적 접근 방법을 결합한 새로운 방식인 지능적 제어(Intelligent control)이론에 의해 구현되고 있다. 지능적 제어 이론은 디지털 컴퓨터의 판단 및 결정능력과 시스템 이론의 수학적 모델링 및 종합 기술을 이용하여 미래의 공학적 필요에 맞는 통일된 접근방법을 제시한다. 이 분야는 그림 4.1에서와 같이 인공지능, operation research 및 제어이론의 상호 결합에 의해 생성된 것으로 볼 수 있는데, 최근 제어 이론가의 많은 주목을 받고 있는 추세이다.⁵⁾¹⁰⁾

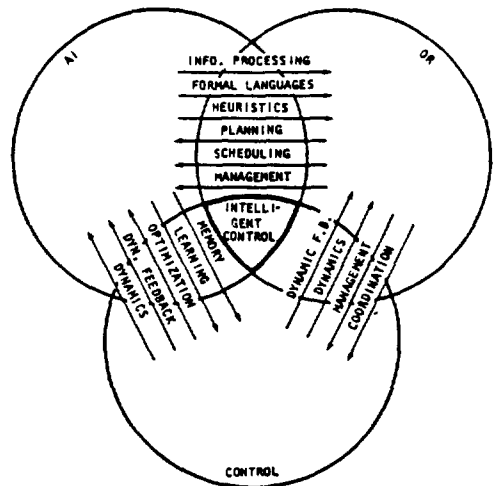


그림 4.1 지능적 제어의 구성도¹⁰⁾

여러 산업중 제조산업(manufacturing industry)에서의 제어구조는 process control, operational control, strategic control등의 세가지 단계로 크게 나눌 수 있다(그림4.2 참조)⁹⁾. Process control 단계는 각 단위

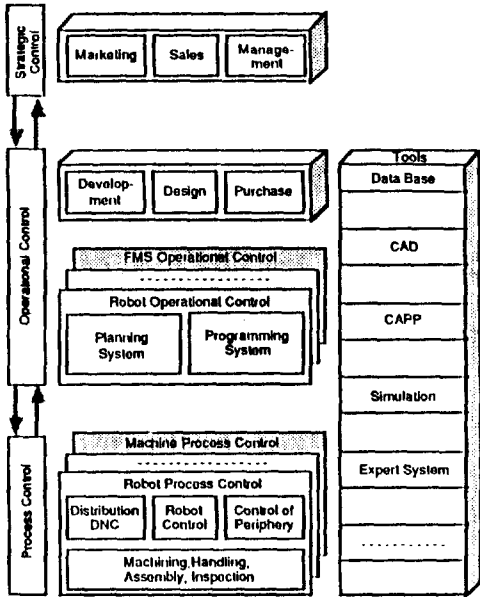


그림 4.2 제조 산업에서의 계층적 제어구조⁹⁾

공정별 제어단계로서, 단위공작 기계의 제어, robot 동작 제어, 화학 공정의 단위별 loop 제어등이 이 단계에 속하며 대개 조작자의 간섭없이 제어계가 자동으로 동작되고 실시간 처리가 요구된다. Operational control 단계는 각 기능별 제어 단계로서 FMS의 동작 제어, robot의 그룹제어등이 여기에 속하며 실시간 제어와 조작자간의 대화 방식에 의한 제어등이 혼합되어 쓰이는 경우가 많다. Strategic control 단계는 공장 전체 규모의 제어단계로서 생산량, 판매, 수요 및 제조설비 설계 등을 총괄적으로 담당하게 된다. 다음에는 이 세가지 단계에서 적용될 수 있는 전문가 시스템의 기본적 구조 및 그 특징을 간략히 소개한다.

* 실시간 제어를 위한 전문가 시스템⁶⁾¹¹⁾¹²⁾¹³⁾

현재의 일반 산업공정에 사용되고 있는 제어알고리즘은 PID타입이 대부분이나 수동 및 자동 동작간의 매끄러운 변환, 파라미터 변화에의 적응, actuator의 비선형성, 적분항의 wind-up, 최대 및 최소값의 선별등을 처리할 수 있는 좋은 성능의 PID 제어기를 구현하기 위해서 feedback 루프에 휴리스틱 논리를 포함시킨 인공지능 기법이 최근에 많이 적용되고 있다. PID 제어외에도 적응제어에서의 성능 향상, 다중 루프의 효율적 제어를 할 수 있는 지능형 제어시스템이 연구 개발

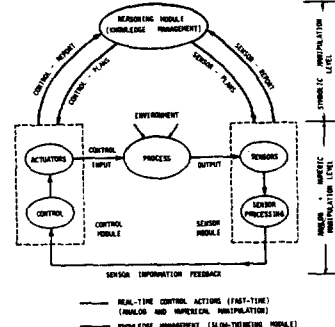


그림 4.3 지능형제어의 개념적 구조¹¹⁾

되어 실제 공정에 사용되기 시작하고 있다. 산업 공정의 process control 단계는 대개 실시간 처리, 신뢰성 및 안전성, microcomputer 정도의 소규모 시스템등이 요구되며 I/O는 센서 및 actuator에 연결되고 사용자와의 인터페이스는 상당한 제약을 받는다. 따라서, 제어기에서의 휴리스틱 논리 처리 module은 실시간 및 on-line에 처리되어야 하는 microprocessor 수준의 다음과 같은 제약 조건을 만족하여야 한다.

- 센서 신호에 따라 예측치 못했던 환경에 대해 결론을 내리고 그에 따른 동작을 취해야 하며, 이 모든 것이 실시간에 이루어져야 한다
- 센서로부터의 data는 지식 베이스로부터 event 등의 타임을 분별해 낼 수 있어야 한다.
- 시스템은 부정확하거나 불명료한 data에 대해서도 적절하며 안전한 동작을 하여야 한다.
- 시스템은 메모리 용량, 처리속도등의 제한된 H/W의 규격에 맞게 동작하여야 한다.

지능형 제어 시스템은 그림4.3과 같이 개념적으로 기존의 제어 알고리즘에 의해 구현될 수 있는 부분(analog + numeric manipulation level)과 지식 기반에 의해 제어상태를 감시하고 조절하는 휴리스틱 논리부분(Symbolic manipulation level)등으로 나눌 수 있다. 일반적으로 휴리스틱 논리 부분은 기존의 제어알고리즘에 비해 프로그램의 규모가 크고 실행 시간이 매우 길기 때문에 실제 적용에 있어서 큰 문제점을 안고 있다. 또한 휴리스틱 부분은 자체에러를 찾아내고 변경하거나 논리를 시험하는데 있어서 상당한 어려움이 있기 때문에 이 부분을 어떻게 효과적으로 구현할 수 있는가가 문제 해결의 관건이 된다. 그림 4.4는 이러한 문제해결의 한 방안으로서 제시된 전문가 시스템이다.

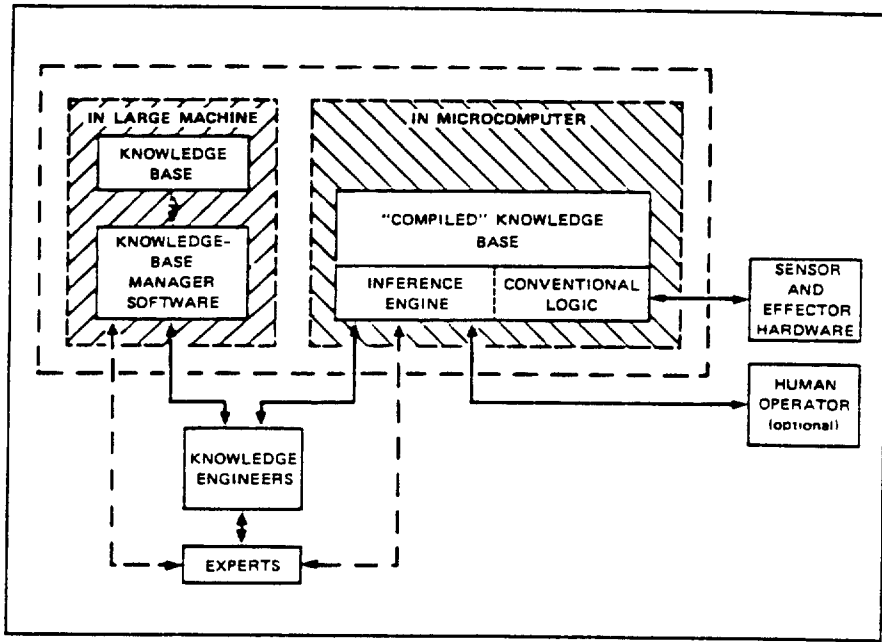


그림 4.4 실시간 전문가 시스템⁶⁾

이 시스템은 지식베이스 및 이를 관리하는 S/W 등이 포함되는 외부 off-line computer와 추론기관, 기존의 제어알고리즘 및 compile된 지식베이스 등으로 구성되는 on-line microcomputer로서 구성된다. 지식베이스는 system data base와 rule base로 크게 나눌 수 있는데 system data base에는 fact, evidence, hypotheses 및 goals 등으로 구성된다. Fact는 센서 측정 허용치, 동작 기준치, 경보기준치, 동작 수순의 제한, plant의 구성등의 변화하지 않는 고정된 data를 포함하며, evidence는 센서, 시험결과등 변화하는 data를 포함한다. 예를들어, evidence는 다음과 같은 형태로 표시될 수 있다.

evidence ::= (state), 혹은

evidence ::= (identifier) (max. thr.) (min. thr.)

여기서 (state)는 실제 감시 상황을 나타내며 (identifier)는 변수이름, (max. thr.) 및 (min. thr.)는 해당되는 공정변수값의 최고값과 최소값을 나타낸다.

Rule base는 공정제어에 대한 휴리스틱한 지식에 관한 규칙의 집합체이다. 규칙은(rule) 정의 규칙과 결정 규칙의 2가지로 구성될 수 있다. 전자는 공정의 상태나 성질을 규정하는데 필요한 모든 사실(fact)을 구체화하는데 쓰이며 후자는 감시나 제어동작을 실행시키는데

쓰이게 된다. 규칙은 일반적으로 "if(상황) then(동작)" 형태로써 표현한다.

지식베이스를 위에서 설명된 일반적인 형태로 저장하게 되면 메모리의 상당부분을 차지하게 되므로 code의 규모를 줄이고 실행속도를 빠르게 하기 위해 외부computer에서 좀더 간결하면서 특수한 형태로 compile 한 후 microcomputer에 저장한다. 이러한 지식베이스를 이용하여 추론기관은 어떠한 규칙을 이용해야 하는가를 결정하게 된다. 결정을 내리는 전략에는 여러 방법이 있을 수 있으며 좀더 빠른 결정을 내리기 위해 규칙과 system data를 구조적으로 변환하여 특수한 형태를 가지게하는 지식변환기를 이용할 수 있다. 추론부분에서는 근사 추론기법을 이용할 수 있으며, 특히 불확성을 수치적으로 다루기 위해 fuzzy logic을 사용할 수 있다.

* FMS(Flexible Manufacturing System)의 전문가 관리제어⁸⁾⁹⁾

유연한 제조 환경에서는 버퍼, 팰릿, 도구들과 같은 공유하는 자원들의 사용제한성 때문에 모든 작업들이 서로 깊은 연관성을 갖게되어 작업 계획이 다른 시스템에서의 경우에 비해 더욱 복잡하고 중요하여진다. 현재 쓰이고 있는 대부분의 scheduler는 독립적인 시스템으

로 운영되고 있어서 FMS의 실제 상황에 대한 정보를 갖지 못하는 실정이다. 따라서, 많은 요소들이 작업의 흐름에 직접적으로 영향을 미치는 FMS에서의 적절한 작업분배 및 효율적인 계획을 위해서는 기존의 방법만으로는 실효를 거두기 어렵고 변화하는 환경에 따른 작업 수순의 실시간 변경 및 지능적인 계획이 요구되며, 이러한 기능은 전문가 시스템의 적용에 의해 효과적으로 구현될 수 있다.

FMS 관리자 시스템의 전체 구성은 scheduler, 전문가 시스템, 사용자와의 interface 등으로 나눌 수 있다, 실시간 scheduler는 data base내에 남아있는 명령을 배열하여 수행하며, 이렇게 세워진 계획을 실행에 옮기기전에 그 기능을 미리 검사하는 simulator를 포함한다. 만약, 계획이 적합치 않으면 전문가 시스템은 이에 대한 적절한 조치를 내리게 된다. 한편, 전문가 시스템은 FMS의 상태 감시 및 제어, 실시간 scheduler를 이용한 재계획, 변화하는 환경에 따른 계획 변수의 조정, 검사 및 추정, 사용자에게 상황설명등을 하는 기능들을 수행하게 된다.

실제적인 FMS 관리 시스템을 설계하기 위해서는 scheduler와 전문가 시스템간의 data 전송문제, 지식 표현, 계획 수립의 전략 및 결정기준, 실시간 처리 문제, 전체 시스템의 상태 data 구성 및 각 machine data의 효율적인 구성등이 종합적으로 고려되어야 한다. 이러한 관리 시스템은 FMS 뿐만 아니라 robot로 구성되어 있는 생산 cell(예 : 자동차 용접 line의 robot cell)에도 적용될 수 있다.

*** 제조 설계 분야의 전문가 시스템⁷⁾**

부품설계, 공정 계획등의 복잡한 제조 문제를 취급하는데 있어서 인공지능 기법을 응용하는 것이 좀 더 실제적인 해결 방안을 제시해 줄 수 있다. 이 분야에서 실제로 사용되는 여러 전문가 시스템은 표4.2에서 볼 수 있다.

제조 시스템을 만들 때의 첫단계는 생산될 부품들을 설계하는 것이다. 이 단계가 끝나면 기본적 생산공정이 설계되고, 이에 따라 사용될 장비가 선정이 되며 마지막으로 공장에 설치되는 이 장비들의 배치가 설계된다. 따라서, 제조 시스템의 설계는 부품 설계, 공정 계획, 장비선정, 시설 배치등을 포함하는 것으로 볼 수 있다. 전문가 시스템에서 사용되는 지식베이스는 이 네가지 부

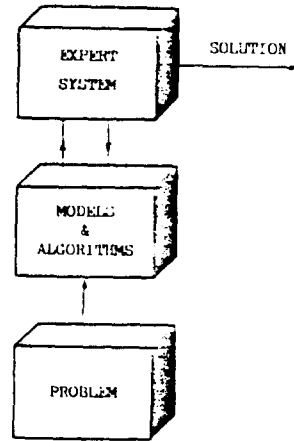


그림 4.5 혼합형 전문가시스템⁷⁾

분에 대한 설계 규칙, 모델 및 알고리즘등으로 구성된다. 제조 환경에서 일어나는 여러 실제적 문제를 해결하는데 사용되는 전문가 시스템 구조는 일반적인 그것과는 약간 차이가 있는데 전문가 시스템과 최적화 기법의 혼합형이 주로 쓰이고 있다. (그림 4.5 참조) 전문가 시스템은 우선 주어진 문제에 대해 적합한 모델과 알고리즘을 선정하여 초기 해결안을 제시한다. 이 초기안은 실현 가능성이 검토되며, 실현 가능하면 전문가 시스템은 어떤 수정이 필요한지 지식베이스를 확인하게 된다. 만약 실현 불가능하면 추가적인 제한이 모델에 가해져서 새로운 모델에 대한 적합한 알고리즘을 찾게 되며 이때의 해결안은 다시 실현 가능성이 검토되고 수정된다. 이러한 최적화 과정은 만족할만한 안을 찾을 때까지 계속되게 된다. 따라서, 이러한 전문가 시스템은 data base 관리시스템과 직접, 간접적으로 상호작용이 가능하여야 하고 알고리즘과의 상호작용, 부정확한 data의 처리, 순차적인 차선책의 제시 및 자연어 수준의 언어로 코드화 될 수 있어야 한다.

5. 결 론

1960년대 무렵 computer가 산업 공정 제어 분야에 처음 도입된 이래 computer 기술의 발달에 따라 공정제어에의 그 응용 기술도 병행하여 발전하여 왔다. 최근 다시 주목을 받고 있는 인공지능 기술도 예외없이 산업 공정 제어에 도입되기 시작하고 있으며, 특히 근래에 들어 일고 있는 공장 자동화의 물결은 이러한 응용 기술

표 4.2 제조 분야에서의 전문가 시스템¹⁾

Design Area	Expert System Name	Knowledge Representation	Inference Strategy	Programming Language
Part Design	Dominic I	na	na	Common LISP
	AIR-CYL	na	na	DSPL
	AIFIX	attributes, rules	na	Fortran LISP
Process planning	Hi-Mapp	rules	backward chaining	INTERLISP
	AGFPO	rules	forward chaining	Prolog
	CIMS	rules	na	na
	SAPT	rules	na	LISP
	SIPP	frames	branch and bound	Prolog
	CUTTECH	rules	backward chaining	na
	EXCAP	rules	backward chaining	Pascal
	GARI	rules	forward chaining	MACLISP
	PROPLAN	rules	forward and backward chaining	LISP
	TOM	rules	backward chaining	Pascal
Equipment selection	ROBOSPEC	rules, attribute-value pairs	forward chaining	OPS 5
	na	rules	forward and backward chaining	Prolog
	na	rules	forward and backward chaining	Prolog
Facility design layout	MATHES	rules	backward chaining	na
	EXML	rules	forward chaining	Common LISP
	IF-LAPS	rules	forward chaining	Prolog
	FADES	logic procedures, first-order predicates	backward chaining	Prolog

na - data not available.

의 발전을 더욱 가속화시키고 있다.

현재 산업 공정제어에 쓰이고 있는 대부분의 인공지능 시스템은 operator의 보조역할에 그치고 있으며 직접적인 제어에 간여하기에는 그 신뢰성 및 안정성 등이 아직 미흡한 형편이다. 그러나, 최근에 들어 process controller들이 제한된 인공지능 기술을 활용하여 좋은 성능 및 결과를 나타내고 있으며 일부 cell controller들도 이러한 기술을 응용하여 새로운 상품으로서 선을 띄고 있는 추세이다. 따라서, 제한적이거나 개발되어 쓰이고 있는 인공지능 기술의 활용 결과를 보아서는 실시간 처리, 신뢰성, 안정성등이 요구되는 산업 공정 제어에서도 본문에서 이미 설명되어진 인공지능 적용 기술은 더욱 발전되리라 생각된다.

본고에서는 인공지능에 대한 개괄적 소개 및 산업 공

정 제어 분야와 관련된 인공지능 기술등에 대하여 설명 하였으며 몇가지 실제 예를 간략히 소개하였다. 이는 앞으로 공장 자동화 기술 분야에 있어서 인공지능 기술의 활용이 필수적인 것임을 고려하여 이 활용 기술에 국내 관련자들의 많은 관심을 유도하고자 하는 것이며 이 기술에 대한 상세한 전문적인 지식은 참고문헌을 참고하기 바란다.

참 고 문 헌

- 1) Elaine Rich, "Artificial Intelligence," McGraw-Hill, Inc., New York, 1983
- 2) Donald A. Waterman, "A Guide to Expert Systems," Addison-Wesley Publishing Co., 1986
- 3) B.G. Buchanan and E.H. Shortliffe, "Rule-based Expert Systems," Addison-Wesley Publishing Co.,

1984

- 4) R.A. Herrod and Barbara Papas, "Artificial Intelligence moves into Industrial and Process Control," I&CS Magazine, Mar. 1985, p45-52
- 5) G.N. Saridis, "Toward the Realization of Intelligent Controls," Proc. of IEEE, vol. 67, No. 8, aug. 1979, p1115-1133
- 6) M.L. Wright, et. al., "An Expert System for Real-time Control," IEEE Software, Mar. 1986, p16-24
- 7) S.H. Heragu & A. Kusiak, "Analysis fo Expert Systems in Manufacturing Design," IEEE Trans. SMC, vol. 17, No. 6, Nov / Dec, 1987, p898-912
- 8) Spur et. al., "Planning and Programming of Robot Integrated Production cells," Proc. ESPRIT Project, 1987, p1619-1637
- 9) H. Heinz-Fischer, et. al., "Expert Supervisory Control of a Flexible Manufacturing System," Proc. ESPRIT Project, 1987, P1619-1637
- 10) G.N. Saridis, "Foundations of the Theory of Intelligent Controls," Proc. IEEE Workshop on Intelligent Control, 1985, p23-28
- 11) M.M. Gupta, "Toward the Realization of Intelligent Machines," Proc. IEEE Workshop on Intelligent Control, 1985, p145-149
- 12) A. Ollero & Sanz, "Intelligent Workstation for Control and Supervision of Industrial Processes: Software Aspects," Proc. IEEE Conference, 1987, p847-850
- 13) K.J. Astrom, et. al., "Expert Control," Automatica, vol. 22, No. 3, 1986, p277-286