

지능 제어의 새로운 연구 동향

김 종 환*, 심 현 식**

(* 한국과학기술원 전기및 전자공학과 부교수

** 한국과학기술원 전기및 전자공학과 박사과정)

1. 서 론

인간의 사회는 선사시대 이래로 끊임없이 발전해왔고 특히 산업혁명 이후 과학의 발달은 문명을 눈부시게 발전시켰다. 문명의 발달은 인간의 편의를 위한 각종 기기를 발명시켰고 그것들은 사회구조처럼 거대해지고 복잡해지게 되었다. 각종 문명이기들의 출현에 대응하여 그것들의 체계적인 관리가 필요하게 되었고, 이를 위하여 많은 사람들에 의해 제어이론들이 연구되어왔다. 1868년에 J.C. Maxwell은 제어 목적을 위해 Plant를 나타내는 수학적 모델을 처음으로 만들었고, James Watt가 만든 조속기에서의 불안정성을 설명하는 데 사용하였다. 그 후 약 130여년동안 제어 이론에는 많은 발전이 있었다. 1930년대와 1940년대에는 주파수 영역에서의 해석과 Laplace transform이 사용되었고 1960년대에는 상태변수의 도입이 시스템 모델링에 도입되었다. 1950년대에 최적제어, 1960년대의 stochastic, robust, adaptive 제어 등은 초기의 조속기보다 더 복잡한 시스템을 좀더 정확하게 제어할 수 있게 하였다. 그러나 이와 같은 연구자들의 끊임 없는 연구와 개발에도 불구하고 발전소, 공장 등의 거대 다변수시스템이나 작은 시스템일지라도 복잡한 일을 수행하도록 하는 일에 대해서는 원하는 목적을 이루는 것이 힘들어 지게 되었다. 이런 시스템들은 불완전한 모델, 분산된 센서, 큰 외란, 다중 time scale, 다중 목적 함수, 복잡한 정보 패턴, 그리고 많은 양의 데이터등의 특징들을 가지고 있다. 이런 시스템들에서 발생하는 위와 같은 특징들은 크게 세 가지로 분류될 수 있다. 첫째는 계산의 복잡성, 둘째는 비선형 시스템의 존재 그리고 마지막으로 불확실성의 존재이다. 이들 특징을 가진 시스템에는 기존 제어이론으로는 잘 해결이 되지 않는 어려움이 존재하기 때문에 이러한 문제를 해결하기 위한 방법으로 인간의 제어기술이나 지능 등을 모사 하려는 연구가 진행되기 시작하였다. 1971년에 K.S. Fu가 "지능 제어(Intel-

ligent Control)"란 용어를 처음 사용한 뒤로 이 분야에 대한 많은 연구가 행하여져서, 지능 제어는 현대제어 이론의 중요한 한 부분으로 자리잡게 되었다. 지능 제어의 정확한 정의는 따로 정해져 있지 않지만 "복잡한 시스템을 제어할 수 있는, 또는 복잡한 일들을 수행하는 능력을 가진 인간의 지능을 이용하려는 제어"라고 생각할 수 있다. 일반적으로 정의된 지능 제어 시스템이란 "불확실성을 다룰 수 있고 학습능력과 자율성을 가진 시스템"이다[1].

이러한 지능제어는 크게 두 가지 방법의 접근 방식으로 나누어 생각할 수 있다. 한가지는 많이 알려진 퍼지 로직, 카오스 이론, 신경회로망, 진화 연산 등의 결합된 형태의 soft-computing 방법을 이용한 제어이다. 퍼지 제어나 신경회로망 등은 기존의 제어 이론들이 가지지 않았던 인간의 추론 능력이나 학습능력을 모방하는 기능을 가지고 있기 때문에 이들을 지능 제어라고 하기도 한다. 지능이라는 것이 인간이 가진 독특한 능력중의 하나이므로 인간의 능력을 모방한 제어 방법을 지능 제어라고 생각하는 것은 당연할 것이다. 그러나 이들 각각의 제어방법은 앞에서 언급한 지능제어의 정의를 완벽이 만족시키지 못한다. 예를 들면, 퍼지 제어는 인간의 사고체계와 비슷한 방법으로 제어를 할 수 있다는 장점이 있지만 학습능력이 없고 반면에 신경회로망은 학습능력은 뛰어나지만 추론능력이 없다는 단점을 가지고 있다. 그래서 요즘은 이러한 것들을 서로 혼용하는 연구들이 활발히 진행되고 있다.

다른 한가지는 앞의 것보다는 좀 더 포괄적인 개념으로 알고리즘 적인 연구뿐만 아니라 제어구조에 지능을 부여하는 것이다. 이 연구흐름은 기존의 제어알고리즘뿐만 아니라 지금까지 여러 학문의 영역에서 제안되어 연구되어 온 알고리즘(AI기법, OR기술등)과의 혼용으로서 시스템에 지능을 부여하도록 하려는 것이다. 이러한 연구방법은 복잡한 시스템에 대해 복잡한 일들을 스스로 수행할 수 있는 능력을 부여하기 위하여 연구되기 시작하여 발전소의 분산 제어나 우주 탐험체의 지능 제어,

그리고 이동 로봇의 지능 제어를 위한 해결책으로 주로 연구되어져 왔다. 이를 위하여는 적절한 제어구조와 이들에 대한 적절한 알고리즘 활용에 대한 연구들이 필요하다.

이 글에서는 지능제어에 대한 정의와 기존의 연구들을 먼저 정리를 하고 그것들의 연구 흐름을 분석하여, 복잡한 시스템의 지능 제어를 위한 제어구조의 새로운 연구 동향을 다루고자 한다.

2. 지능의 정의

지능제어에 대한 정의를 알아보기 전에 지능에 대한 것을 먼저 알아보자. 지능에 대한 체계적인 연구가 시작된 것은 1800년대 중반부터이다. 많은 학자들이 연구를 해왔지만 지능의 정확한 정의를 내리기는 쉽지 않다. 어느 학자는 지능이란 “학습을 할 수 있는 능력” 라고 하였고, Humphreys[2]는 다음과 같이 정의를 내리기도 하였다.

“Intelligence is the resultant of the processes of acquiring, storing in memory, retrieving, combining, comparing and using in new contexts information and conceptual skills: it is an abstraction”

또한 Jensen[2]은 ‘지능에 대한 시각은 사회적, 역사적 영향을 받는다’라고 말하였다. 이것은 수렵시대에서는 지능은 언어나 기호를 다루는 능력보다 수렵을 위하여 “날카로운 시선”, “달리는 속도”의 능력이 중요시되었으므로 그 시대에서는 현대사회에서의 지능과는 다르게 지능의 정의를 생각할 수 있다는 것이다. 지능을 측정하는 척도가 시대에 따라 변하는 것도 한 이유일 것이다. 심리학의 관점에서는 자신의 후손 번식을 최대화하기 위한 수단을 야기시키는 행동양식으로 정의하였고, 제어이론의 관점에서는 지능을 “Knowledgeable helmsman of behavior”라고 하여 ‘환경을 감지하고, 결정을 내리고, 행동을 제어하는 능력이 필요하며, 그 외 추론, 인식, 이해 등의 여러 가지 기능을 가지고 있어야 한다’고 정의했다. 이러한 제어이론에서는 지능의 수준을 구별하는 척도로서 시스템의 뇌(컴퓨터)의 계산 능력, 센서 처리, 행동 생성, 판단, 통신을 위한 알고리즘의 우수성 그리고 시스템에 저장된 정보로 정의하였다.

3. 지능 제어의 정의

지능제어는 여러 가지 지능의 정의처럼 정확히 정의되어진 것은 없지만 위에 언급한 지능의 정의를 따라갈 것이다. 그리고 제어의 의미가 시스템을 원하는 목적을 이루도록 조정하는 것을 말하므로 지능제어는 지능에 목적

이 포함된 것으로 생각할 수 있다. 지능의 정의와 마찬가지로 연구자들마다 각자의 견해에 따라 다른 정의를 내리기도 한다. Antsaklis[1]는 다음과 같이 지능제어 시스템을 정의하였다.

“An Intelligent control system has the ability to act appropriately in an uncertain environment, where an appropriate action is that which increase the probability of success, and success is the achievement of behavioral subgoals that support the system’s ultimate goal.”

반면에 Saridis[1][5][6]는 다음과 같이 정의를 하였다.

“Machine intelligence is the process of analyzing, organizing and converting data into knowledge, where (machine) knowledge is defined to be the structured information acquired and applied to remove ignorance or uncertainty about a specific task pertaining to the intelligent machine.”

이 정의는 Saridis가 주장하는 The Principle of Increasing Precision with Decreasing Intelligence(IPDI)를 의미하는 것으로 계층적인 구조에서 상위계층은 높은 지능을 가진 반면 실제 수행 능력은 떨어지며, 반면에 하위 계층으로 갈수록 그 반대가 된다는 것이다.

또 다른 정의로서는 다음과 같은 것도 있다.

“Many adaptive or learning control systems can be thought of as designing a control law to meet well-defined control objectives. This activity represents the system’s attempt to organize or order its knowledge of its own dynamical behavior, so to meet a control objective.”

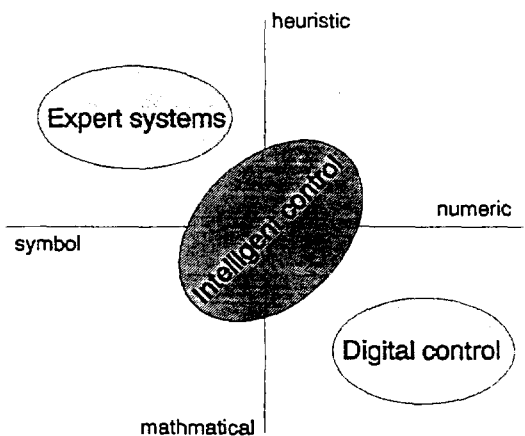


그림 1 지능제어의 영역

이것은 ‘자율적으로 구성되는 제어기를 가진 시스템이 지능제어 시스템이다’라는 것을 의미한다. 이외에도 여러

구자의 관점에 따른 정의는 많지만 이것들을 정리하면 지능제어는 명령을 받으면 스스로 해석하고 일을 생성하고 그것을 수행하며, 수행하는 도중에 예기치 못한 상황이 발생해도 그 상황에 적응하여 일을 완수하며 학습을 해서 더 좋은 성능을 만족시키도록 제어하는 것으로 정의할 수 있다. 이러한 지능 제어는 자율 제어(autonomous control)라는 다른 말로도 사용되기도 한다.

그림 1은 지능 제어와 기존의 다른 제어와의 관계를 나타낸 것이다. 그림과 같은 좌표축들을 생각할 때 2사분면은 expert system, 4사분면은 digital control 영역에 해당한다. 반면에 지능제어는 여러 영역의 기능을 다 포함하고 있다.

4. 지능제어의 구성요소

자율성을 가진 지능 제어시스템은 시스템과 주변환경에서의 불확실성 하에서도 잘 수행해야하고 외부의 도움이 없이 어떤 시스템 고장이나 실패도 보상하고 극복할 수 있어야한다. 지능 제어가 갖추어야 할 사항들을 먼저 정리해보고 그것을 만족시키는 제어 구조를 설계하는 것이 논리적인 방법일 것이다.

지능 제어가 갖추어야 할 사항들은 다음과 같다.

- 1) 환경에 대한 반사 능력(Reactivity)-엄밀히 말하면 일반적으로 지능을 생각할 때는 추론 같은 이성에 관한 것을 생각하지만 모든 생물들은 본능이라고 생각할 수 있는 외부환경에 대한 즉각적인 반사 능력을 가지고 있다. 외부 환경에의 급작스러운 변화나 자극에 대해 생물들은 조건 반사적인 행동을 함으로써 위험을 벗어나는 행동을 취한다. 다음 절에서 설명되는 behavioral 구조가 이것에 중점을 두고 이루어진 것이다.
- 2) 내부 상황에 대한 조절 능력(Homeostatic) - 생물체에는 위의 반사 능력과 같이 이성적으로는 잘 알 수 없는 내부 상태에 따라 몸의 내부기관들의 움직임을 조절하는 내분비 계통의 기관들이 있다. 이러한 기관은 호르몬을 사용하여 내부 장기들의 제한 작용을 시켜 조화를 이루어나가게 되어있다. 이동 로봇과 같은 경우 대부분 전지를 사용하는데 현재 사용할 수 있는 전지 용량에 따라 이동 로봇의 이동 패턴을 결정해야 한다고 생각하는 것은 당연할 것이다. 전지 충전량이 적다면 될 수 있는 대로 모터의 사용을 적게 하는 행동을 하는 것이 바람직할 것이다. 이렇게 내부적인 상태에 따라 스스로 행동을 조절하는 능력은 지능 제어에서 필수적일 것이다.
- 3) 정보처리능력(Information processing) - 생물체에는 감각기관이 존재한다. 감각기관을 통해 들어온 자극은 뇌의 한 부분에서 처리를 하고 추론이나 학

습 등의 필요한 일을 한다. 감각 기관에 해당하는 것을 일반적인 시스템에서는 센서가 담당하게 되는데 사용되는 센서는 종류가 많을 뿐만 아니라 개수도 많다. 다양하고 많은 센서로부터 각각의 기관에 필요한 정보를 추출하고 원하는 곳에 보낼 수 있는 능력이 있어야 한다. 그리고 처리하는 정보는 센서로부터의 가공되지 않은 정보뿐만 아니라 기호형태의 정보도 처리할 수 있는 능력이 있어야 한다.

- 4) 문제 해결 능력(Problem solving) - 명령을 수행하는 도중에 여러 가지 갈등의 요소를 만나게 된다. 수행 도중 생긴 중간목표들 사이의 문제점들을 해결할 수 있는 능력이 있어야 한다. 또한 명령을 수행 못하게 될 경우 비슷한 수행을 하려는 노력이나, 못한다는 메시지를 보낼 수 있어야 한다.
- 5) 학습 능력(Learning) - 지능에서 빠질 수 없는 요소로서 아무런 기초 지식이나 구성이 없는 상태에서 원하는 일을 수행하고 더 좋은 성능을 이룰 수 능력이 있어야 한다. 그 밖에 내부 제어기의 변수 등을 조정해 나갈 수 있어야하며 각 구성 성분이나 다른 능력들의 성능을 향상시킬 수 있어야 한다. 학습능력은 제어 구조 내에 모든 구성 요소에 있는 것이 좋을 것이며 각각의 학습 목적, 속도, 내용 등은 각각의 목적에 맞게 다를 것이다.
- 6) 추론 능력(Reasoning) - 명령을 받으면 그 업무가 무엇인지 해석하고 그 명령을 수행하기 위한 세부 업무들을 유추하여 생성하는 능력이 있어야 한다. 그 밖에 받아들인 데이터를 이용해 합당한 결론을 유추하는 능력 등도 있어야 할 것이다. 그리고 기호에 대한 추론능력도 있어야 한다.
- 7) 강인성(Robustness) - 시스템은 예기치 못한 입력이나 환경의 변화, 외란 등의 존재 하에서도 시스템이 일을 수행할 수 있도록 해야한다.
- 8) 신뢰성(Reliability) - 시스템의 신뢰성은 어떤 시간 동안 시스템 성능의 저하나 고장이 없는 능력을 측정된 것으로 신뢰성이 좋은 시스템만이 실제환경에 적용될 수 있을 것이다.
- 9) 고장 진단 및 극복 능력(Fault diagnosis and tolerant) - 생물체에게는 자기 치유 능력이 있다. 그 뿐만 아니라 사람은 이성적 판단에 의해 자기 자신의 이상 정도를 경험상 알아내기도 하고 다른 사람들의 정신적 육체적 이상 진단 및 처리능력까지 있다. 이것을 모방하여 지능 제어구조체는 자기 자신의 고장 진단능력, 극복능력, 또는 다른 개체의 고장진단 및 극복 능력이 있어야 한다.
- 10) 창의력(Creativity) - 인간의 두드러진 능력중의 하나인 창의력은 인공지능의 궁극적인 목표중의 하나로 매우 실현하기 어려운 능력이다. 지능제어 시스템에서는 새로운 종류의 명령을 받은 경우 수행할 수 없는 명령이라는 것으로 판단하였을 때 새로운

알고리즘이나 행동양식을 스스로 생성할 수 있도록 하는 능력이다.

위의 열 개의 사항들은 지능제어를 설계할 때 고려되어야 할 것들로서 강인성과 신뢰성을 제외한 능력들은 인간을 모방하려는 동기로부터 나온 것들이다. 강인성과 신뢰성은 제어의 목적을 위해서 필요한 것이고, 지능제어가 이것들을 만족시켜야만 실제 시스템들에 적용될 수 있을 것이다.

5. 지능 제어의 연구 동향 및 전망

지능 제어는 기존의 제어와는 달리 복잡한 시스템을 불확실한 환경 하에서 여러 가지 목적을 이루도록 제어하는 것이므로 기존의 제어이론의 설계방법으로는 문제를 해결할 수 없을 것이다. 이를 위한 체계적인 연구가 많은 사람들에 의하여 진행되어 왔다.

먼저 과학사에 관한 문헌 등을 보면 다음의 3개의 연구가 오늘날의 지능제어에 관한 기본 연구라는 것을 알 수 있다. 17세기에 Gottfried Leibniz는 어떤 추론이든 할 수 있는 기계를 제안하였고, 19세기에 Charles Babbage는 계산을 할 수 있는 기구를 만들었으며, 1936년 Alan Turing은 생각할 수 있는 기계를 제안하였다. 초기에는 세 가지의 연구가 지향했던 것이 한가지의 목표를 위한 것이라고는 아무도 생각하지 않았으나 그들은 서로 밀접한 관계를 가지고 있었다. 오늘날의 전문가 시스템은 Leibniz의 생각과 같으며, 현대의 고속 계산기는 Babbage의 꿈을 실현시킨 것이다. 그리고 Turing의 자동자 이론은 오늘날 컴퓨터 프로그램 알고리즘의 대표적인 본보기이다. 그후 20세기의 몇십년동안에는 인간의 뇌를 포함한 신경 시스템에 대한 연구가 있어 왔다. 1950년대에는 일단의 학자들이 AI라고 이름 붙여진 학문을 발전시켰다. AI의 주요 연구 테마는 학습이었다. 1960년대 이후 산업용 로봇에 대한 연구가 활발히 시작되면서 로봇의 지능화에 대한 연구도 많은 학자들의 관심이 되었고 대규모의 공장이나 빌딩 제어의 지능화에도 관심이 생기기 시작하였다.

그후 지능제어 연구에 대한 급속한 관심과 함께 많은 알고리즘, 기법들이 나오게 되었고, 서론에서 언급한 지능제어에 대한 연구방법의 두 가지 흐름 중 두 번째 연구방법도 많은 관심의 대상이 되었다. 특히 1980년대 이후에는 이동 로봇 제어에 관심이 집중됨에 따라 지능 제어 구조에 대한 연구도 활발하게 되었다. Antsaklis, Passino [1, 3, 4, 17, 18, 19]등은 "자율제어(autonomous control)는 자기 통제를 할 수 있는 능력과 기능을 가진다"라고 정의하여 지능제어 구조를 제안하였다. 그들은 Management and Organization Level, Coordination Level, Execution Level의 계층적인 3가지의 계층으로 나누고 각각의 계층들의 기능 정의와 설계방법들에 대해 논

의하였고, 제안된 구조를 우주탐험체의 지능제어에 이용하려고 하였다.

Saridis[5, 6]는 지능 제어는 "Intelligent Machine: 인간이 해야 할 일들을 인간의 감독이나 조작을 최소화하면서 대신 수행할 수 있는 machine"로 정의되는 Intelligent Machine을 구현하는 일이라고 정의하고, 그림 2에서와 같은 인공 지능(Artificial Intelligence)과 Operations Research, 그리고 자동 제어(Automatic Control)분야를 합성시키는 새로운 Intelligent Machine 구조를 제안하였다. 그리고 이를 로봇 매니플레이터를 이용한 공장자동화의 지능제어에 적용하였다. 이 Intelligent Machine은 The Principle of Increasing Precision with Decreasing Intelligence(IPDI)에 따라 형성된 계층적 제어 구조를 형성하고 있다.

Brooks[9]는 몇 가지 간단한 행동양식으로 복잡한 일을 수행할 수 있게 하는 소전제(subsumption) 구조를 제안하였다. 이 구조의 특징은 중심적인 지능 추론기구가 없다는 것으로 곤충의 지능 형태를 따르고 있다.

Arkin[10, 11]은 Motor Schema Based architecture를 제안하였는데 schema는 장애물 회피, 목표점 찾아가기, 방향하기와 같은 어떠한 일을 수행하는 단위로 이것들의 결과를 적절히 사용하여 복잡한 일을 수행하도록 한 것이다. 특히 Arkin은 동물의 행동양태나 인간의 신체구조인 내분비계통, 호르몬계통등을 모사 하려는 시도를 하였다.

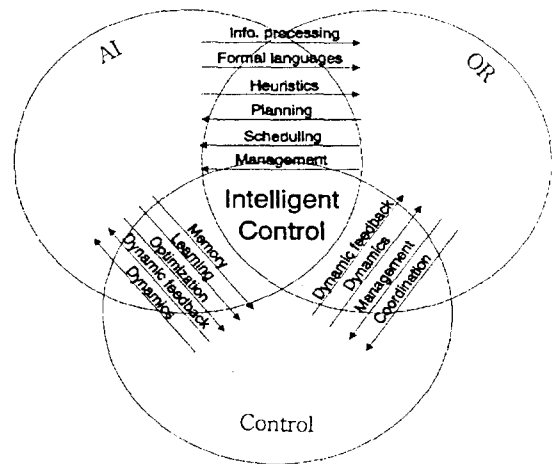


그림 2 지능 제어의 이용 기술

Salichs[12, 13]는 감독자가 기본 행동 단위(primitive behavior)를 적절히 사용하여 원하는 일을 수행하도록 하는 구조를 제시하였고, Saffioti[14]도 반작용(reactivity)라는 단위를 퍼지 제어를 사용하여 합성하는 구조를 제시하였다. 위의 방법들은 모두 행동양식에 근거를

시스템들로 분류할 수 있는 것으로 모두 조건 반사적 행동을 할 수 있다는 점과 병렬 처리를 한다는 점이 상이다.

Mystel[15]은 이동 로봇의 계층적인 구조를 Planner, Navigator, Pilot, Actuator controller의 4개의 계층으로 간하였다. 이것은 Saridis나 Passino가 제안한 것과 같 계층적인 구조 형태로, 이 구조는 데이터의 처리정도 따라 계층을 나누는 것이다. 상위 계층이 받아들이는 보는 하위 계층이 받아들이는 정보보다 처리를 많이 언어적인 형태의 데이터가 된다. 이와 반대로 행동양 구조에서의 정보는 계층 구조에서 계층에 들어가는 보가 서로 다른 반면 모든 행동에 같은 정보가 들어가 각 알아서 처리하는 형태로 되어 있다.

이외에 다른 접근 방법으로는 몇 개의 독립적인 객체의 상호작용을 조종하고 원하는 대로하게 하는 blackboard 시스템을 사용하는 구조[16]이다. 이 구조의 객체는 인식 처리부분, 행동 부분, 부분적인 의사결정부분로 구성되어 있다.

표 1 제어 구조의 비교

	Hierarchical Architecture	Behavioral Architecture	Blackboard Systems
Reactivity	Low	High	Medium
Intelligence	High	Minimum or None	High
Multiple Sensors	Yes with Difficulties	Yes	Yes
Multiple Goals	Yes	Yes with Difficulties	Yes
Robustness	Very Low	Very High	Medium
Reliability	Low	High	Medium
Modularity	Yes	Yes	Yes
Flexibility	No	No	Yes
Expandability	Yes	Yes	Yes
Adaptability	No	No	Yes
Centralized Decision Making	Yes	No	No

지능제어 구조는 위의 표[16]에서처럼 크게 3가지 형태로 분류할 수 있고 각각에는 장단점이 있다. 반작용에는 행동양식 구조가 좋은 반면 계층적 구조는 좋지 않고, 지능에는 반대의 장단점을 갖는다. 이와 같이 각 제어구조에는 제각각의 우수성이 있다. 그래서 각 구조의 장점들을 취합하여 새로운 형태의 구조를 제안하려는 연구가 진행되고 있다. 실제적으로 위에서 언급한 연구들도 엄밀하게 따져보면 각각의 구조들이 조금씩 서로 포함되어 있는 형태이다.

인간 사회에는 일반적으로 피라미드나 종형의 구조를 이루는 집단이 많다. 군대나 회사 같은 집단은 전형적인 피라미드 형태이다. 상위 계층의 사람들은 하위 계층 사람의 일의 수행능력, 개인능력 등을 적절히 사용하여 원하는 일을 수행하도록 하고 있다. 이런 형태에서 하위계

층은 그들만의 전문적인 지식이 있으며 그 지식을 이용하여 그들만의 일을 수행한다. 상위계층은 전문적인 지식보다는 하위계층으로부터의 정보를 처리하고 그들의 능력에 맞게 조정해나가는 능력이 필요하다. 이와 같이 계층구조에서는 계층에 따라 그 계층만의 독특한 능력이 존재한다. 그리고 각 계층의 구성원들은 전문적인 능력 뿐만 아니라 기본적으로 요구되는 일반적인 지식(지능)을 가지고 있다. 지능을 연구하는 분야에서는 이것들을 일반 지능과 전문 지능이라고 구분을 한다. 일반적인 사람들은 공통적인 지능들을 유전적으로 그리고 일반적인 학습에 의해 가지게 되고, 특별한 지능은 전문적인 학습을 통해 습득하게 된다.

지능제어의 구조 설계에서도 이와 비슷한 방식을 택한다면 좋은 성능을 얻을 수 있을 것이다. 계층적 구조는 피라미드와 같은 형태를 이루는 대표적인 구조라고 생각할 수 있다. 그러나 이전에 연구되어왔던 결과들은 각 계층은 전문화된 지능으로만 이루어진 형태를 이루고 있다. 예를 들면 그림 3의 Passino[3]의 구조처럼 맨 하위 계층에서는 구동기와 센서를 직접 다루는 알고리즘으로 이루어진 부분으로 이루어져 있고, 중간 계층에서는 구성자 또는 감독자와 같은 상위계층과 하위 계층의 중간자 역할만 하는 일만하고, 맨 상위계층은 명령을 해석하고 세부업무를 생성하고 추론하는 일만 담당하는 형태의 구조들로 이루어져 있다.

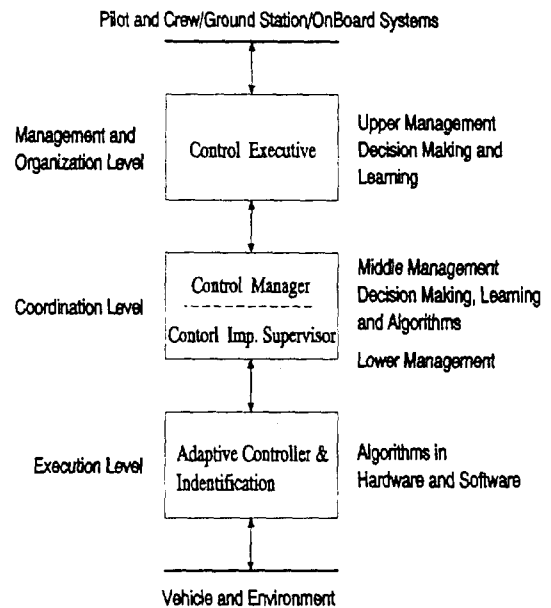


그림 3 Passino의 자율 제어기의 구조형태

인간사회집단에서는 인간들은 일반적인 지능을 갖고 있다. 이러한 일반적인 지능 때문에 상위계층에서의 통

솔이 더 쉬워질 수 있을 것이다. 지능제어시스템에서도 그림 4에서처럼 계층의 객체들마다 지능이 있다면 상위 계층의 명령 정도는 지능에 비례해 간단해질 것이다. 즉, 제어기의 성능이 좋으면 사용자가 더 사용하기 쉽다는 것은 다음과 같은 간단한 예로써 설명될 수 있을 것이다. 원전에서 고장 극복에 이동로봇을 사용한다고 생각하자. 원전 내에 고장이 발생하면 고장원인을 알아 낸 후 수리를 하기 위해 이동로봇에게 명령을 내려야 한다. 이때 기본적으로 생각할 수 있는 명령의 형태는 '어느 지점에 가서 무슨 수리를 하라'와 같은 것이다. 이때 '어느'라는 것이 지능 로봇의 능력에 따라 그 위치에 정확한 좌표가 될 수도 있을 것이고, 아니면 그 지점의 명칭이 될 수도 있을 것이다. 최악의 경우 장애물회피와 같은 기본적인 기능만 갖고 추론이나 문제해결능력이 없는 경우는 목표지점까지의 주행도중에 예기치 못한 일이 생긴 경우에는 지시 사항을 수행 못하기 때문에 그때마다 새로운 명령을 내려야만 할 것이다. 그러나 이동 로봇의 지능이 높다면 상위계층은 간단한 명령하나만으로서 문제를 해결하여 쉽게 일을 수행할 수 있을 것이다. 이처럼 각 객체들마다 기본적인 지능을 갖게 하고 필요한 곳에서는 전문 지능을 갖게 하는 방법이 타당하다고 생각된다.

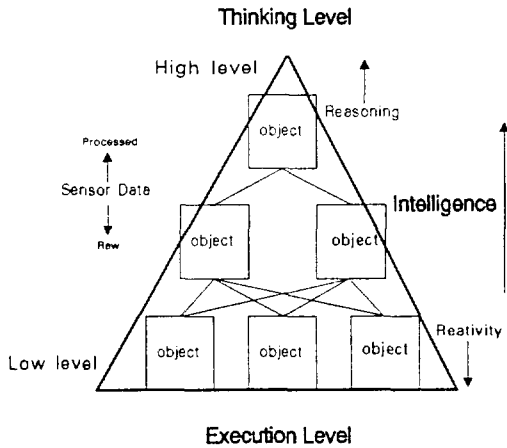


그림 4 지능 제어 구조의 한 예

6. 결 론

대규모의 제어 플랜트나 복잡한 일을 수행하는 시스템에는 기존의 제어이론으로는 잘 해결되지 않는 어려움이 존재하기 때문에 이러한 문제를 해결하기 위한 방법으로 인간의 제어기술이나 지능 등을 모사 하려는 연구가 진행되기 시작하였다. 1971년에 K.S. Fu가 "지능 제어(Intel-

ligent Control)"란 용어를 처음 사용한 뒤로 이 분야에 대한 많은 연구가 행하여져서, 지능 제어는 현대 제어 이론의 중요한 부분으로 자리잡게 되었다.

이 글에서는 지능과 지능제어의 정의 및 그 구성 요소를 알아보고 지능 제어의 연구동향 및 전망을 소개하였다.

다음은 여러 학자들이 필요하다고 서술한 지능제어의 대표적인 연구 분야를 정리한 것이다. 지능제어를 연구하려는 사람에게는 좋은 길잡이가 될 것이다.

- ① 지능제어 시스템의 수학적 모델링에 관한 연구
- ② 지능제어기의 체계적인 설계에 관한 연구
- ③ 비선형 시스템 해석 기법으로부터 얻은 알고리즘의 적용 연구
- ④ 지능제어 시스템의 성능 해석
- ⑤ 지능제어 시스템의 시뮬레이션 기술에 대한 연구
- ⑥ 실제 적용

참 고 문 헌

- [1] Antsaklis P.J., "Defining Intelligent Control: Report of the Task Force on Intelligent Control", *IEEE Control Systems*, June 1994.
- [2] Stuart C. Shapiro and D. Eckroth, "Encyclopedia of Artificial Intelligence", Wiley-Interscience Publication, John Wiley & Sons, Vol. 1, pp. 431-440, 1987.
- [3] Antsaklis P.J., Passino K.M and Wang S.J., "Towards Intelligent Autonomous Control Systems: Architecture and Fundamental Issues", *Journal of Intelligent and Robotic Systems*, Vol.1, pp. 315-342. 1989.
- [4] Special Issue on Autonomous Intelligent Machines. *IEEE Computer*, Vol.22, No.6, June 1989.
- [5] Saridis G.N., "Toward the Realization of Intelligent Controls", *Proc. of the IEEE*, Vol.67, No.8, pp. 1115-1133, August 1979.
- [6] Saridis G.N., "Intelligent Controls for Advanced Automated Processes", *Proc. of the Automated Decision Making and Problem Solving Conf*, NASA CP-2180, May 1980.
- [7] Meystel A., "Intelligent Control: Issues and Perspectives", *Proc. IEEE Workshop on Intelligent Control*, pp. 1-15, 1985.
- [8] Zeigler B.P., "DEVS Representation of Dynamical Systems: Event Based Intelligent Control", *Proc. of the IEEE Int. Symp. on Intelligent Control*, pp. 27-32, Philadelphia, Sept. 1990.
- [9] Brooks R.A., "A Robust Layered Control System For A Mobile Robot", *IEEE Journal of Robotics and Automation*, Vol. RA-3, No.1, March 1986.
- [10] Arkin R.C., "The Impact of Cybernetics on the

Design of a Mobile Robot System: A Case study", *IEEE Trans. on Systems Mans and Cybernetics*, Vol. 20, No. 6. Nov/Dec. 1990.

- [11] Arkin R.C., "Homeostatic Control for Mobile Robot: Dynamic Replanning in Hazardous Environments", *Journal of Robotic Systems* 9(2), 197-214, (1992).
- [12] Salichs M.A. et al, "A Neural Networks Supervisor for Behavioral Primitive of Autonomous systems", *Proc. IECON'92*, pp. 1105-1110, 1992.
- [13] Salichs M.A. et al, "Learning Behavioral Control by Reinforcement for an Autonomous Mobile Robot", *Proc. IECON'93*, pp. 1436-1441, 1993.
- [14] Saffiotti A. et al, "Blending Reactivity and Goal-Directedness in a Fuzzy Controller"
- [15] Isik C. and Meystel A. M., "Pilot Level of a Hierarchical Controller for an Unmanned Mobile Robot", *IEEE Journal of Robotics and Automation*, Vol. 4, No 3, June 1988.
- [16] Fayek R. E. et al, "A System Architecture for a Mobile Robot Based on Activities and a Blackboard Control Unit", *IEEE Robotics and Auto. Conf.*, pp. 267-274, 1993.
- [17] Passino. K. M., "Bridging the Gap between Conventional and Intelligent Control", *IEEE Control Systems*, pp. 12-18, June 1993.
- [18] Antsakils P. J., Passino K. M. and Wang S. J., "An Introduction to Autonomous Control Systems", *IEEE Control Systems*, pp. 5-12, June 1991.
- [19] Rahmat Shoureshi, "The Mystique of Intelligent Control", *IEEE Control Systems*, pp. 33-46, Jan. 1991.

본 연구는 기초 전력 공학 공동 연구소 연구
과제의 일부로 수행된 것임.

저 자 소 개



김종환(金鍾煥)

1957년 7월 13일생. 1981년 서울대 공대 전자공학과 졸업. 1983년 동 대학원 전자공학과 졸업(석사). 1987년 동 대학원 전자공학과 졸업(공학). 1992년 8월-93년 8월 미국 Purdue 대학 교환교수. 현재 한국과학기술원 전기 및 전자 공학과 부교수. 당 학회 편집위원. 1988년 제 3 회 춘강 학술상 수상. 주전공 또는 관심분야: 지능 제어 및 로보틱스, 진화 연산을 이용한 최적화, 퍼지 제어, 신경 회로망, 카오스 등의 Soft Computing 분야, Adaptive Control을 이용한 Hard Computing 분야 및 이들을 이용한 Intelligent Machines(로봇 포함).



심현식(沈賢植)

1969년 2월 2일생. 1991년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(학사). 1993년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(석사). 현재 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 지능 제어연구실 박사과정 재학중. 관심분야: 로보틱스 및 지능제어 시스템.