

「지능제어」의 의미와 연구동향

下 增 男

韓國科學技術院 電氣 및 電子工學科

제어(Control)의 의미와 그 대상이 계속해서 확장되고 있다. 얼마전까지만 해도 전문적 용어로서 “공학적 시스템의 자동제어”에 국한되어 쓰이던 개념이었으나, 요즘에는 경제나 정치, 또는 사회 시스템의 통제·관리라는 의미에서, 혹은 인간관계 차원까지 제어(컨트롤)의 개념이 활용되는 듯하다. 그런데 실제로 어떤 제어문제를 풀고자 할 때는, 그것이 고전적 방법이든 현대 제어이론에 근거했든, 마땅한 해법이 그다지 많지 않다는 사실에 접하게 된다. 공장현장에서만 보더라도, 사람들은 쉽게 배워 할 수 있는 일을 기계화/자동화하는 것이 무척 어렵다는 점을 금방 알게 된다. 그렇다면 기계와 사람이 다른 것은 무엇인가? 백중 아흔 아홉은 지능(Intelligence)을 첫째로 꼽을 것이다. 기계가 지능이 있다면, 사람처럼 배워가면서 결국 많은 일을 능숙하게 해낼 것이라고 생각하고 있는 것이다.

사실, 「지능제어」라는 어휘를 사용하는 사람들 중에는 미래에 구해질 어떤 “만능 제어 패러다임”이라는 막연한 이해하에 쓰고 있는 사람부터, 지능제어를 단순히 “망치를 갖다 놓아라”라든가 “물 한 컵을 주세요”와 같은 「언어적 명령을 수행하는 제어」라고 구체적이고 제한적으로 알고 쓰는 사람까지 여러 종류의 사람들이 있다. 본 글월에서는 「지능제어」의 개념을 여러 관점에서 검토해 본 후, 지능제어시스템이 갖추어야 할 요건과 관련연구과제들과 동향에 대해 기술하고 특히 최근 신기술로 소개되고 있는 소프트웨어컴퓨팅기법과 연관지어 지능제어의 구현문제를 토의한다. 본 글월중 일부는 참고문헌 [7]에 실렸던 본 저자의 글과 일치함을 밝힌다.

II. 「지능제어(Intelligent Control)」 개념의 발전

제목에서와 같이 「지능(知能)」이란 단어가 수

식으로 여기저기에 많이 사용되고 있으나, 정작 그것이 어떤 성질을 나타내는 말인지 확실히 규명짓기는 그다지 쉬운 일이 아니다. 미국에서는 마이크로 프로세서가 처음으로 실용화됐던 1970년대 초 중반에 여러 제품들이 지능제품(Intelligent Product)으로 광고가 된 적이 있다. 지능마이크로웨이브 오븐 등이 한 예이다. 그 중에서도 컴퓨터의 입출력용으로 쓰인 터미널에 마이크로 프로세서를 내장하여 어느 정도 선처리(preprocessing)기능을 가진 단말기를 등장시키면서 이를 지능단말기(Intelligent terminal)라 부르기 시작하였다. 이와 함께 처음에 단순 입출력용으로 사용됐던 제품을 바보단말기(dumb terminal)라 불렀다는 사실은 꽤 재미있는 에피소드이다. 그러다가 세월이 가면서 모든 사람들이 오늘날과 같은 PC겸 단말기를 사용하게 되면서 바보단말기(dumb terminal)가 사라졌고, 이에 따라 「Intelligent」라는 수식어자체도 단말기(terminal)에서 없어지고 말았다. 마찬가지로 우리가 사용하고 있는 “지능제어시스템”에서도 어느 때인가엔 지능이라는 말이 없어질 수도 있을 것이다. 「지능」이란 수식어는 산너머 무지개처럼 손에 잡히지는 않는 무엇인지도 모르겠다.

그럼에도 불구하고 「지능제어(Intelligent Control)」 또는 「지능제어시스템」이란 말은 60년대 후반에 출현하여 꾸준히 제어과학을 하는 사람들 주변을 맴돌아 왔다. 치프킨의 말대로 유행을 일으킬 수 있는 매력적인 개념임에 틀림없다. 그러나 한편 「지능적」이란 말은 복잡하면서도 모호한 것 같다. 이에, 우선 역사적인 흐름을 체크해 보기로 한다.

문헌을 조사해 본 바에 의하면 처음으로 공식적인 정의를 시도했던 학자중의 한 사람으로써 K. S. Fu가 있다. 그는 1970년 IEEE 논문을 통해

$$IC = AC + AI$$

- IC : Intelligent Controller
- AC : Automatic Controller
- AI : Artificial Intelligence

로 정의하고,^[1] 대표적인 지능제어시스템으로서 자

동운전비행기(Autopiloted Aircraft)를 예로 들었다.

그 다음으로, G. Saridis는 1977년의 한 논문을 통하여 보다 구체적인 지능제어(IC)의 공식을 다음과 같이 제안하였다(〈그림 1〉 참조). 즉,

$$IC = CT + AI + OR$$

- CT : Control Theory
- AI : Artificial Intelligence
- OR : Operations Research

G. Saridis의 위 공식은 공장자동화(FA)라는 넓은 분야에 적용할 것을 겨냥했으며, 아직도 많이 인용이 되는 정의중에 하나로서 많은 호응을 얻고 있는 셈이다.

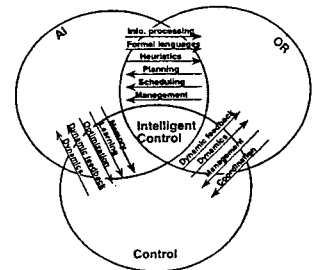
중국인 학자들 중에는 Saridis의 3원법 구성도에 대해 한 요소를 더 가한 다음과 같은 공식을 제안하고 있다.

$$IC = AI + CT + OR + IT$$

- IT : Information Theory(Informatics)

「지능제어」의 구성요소로서 「정보이론」이라는 차원을 추가하는 것은 지능제어(IC)가 학제적 성격을 띠고 있어 타분야의 발전에 의존하므로 정보교환기술이 필수적이라고 보기 때문인 듯하다.

- 1977, G. Saridis
(Factory System)
IC = CT + AI + OR



〈그림 1〉 「Saridis」의 지능제어 구성도

1985년에는 A. Meystel에 의하여 조직되어 처음으로 Intelligent Control에 관한 IEEE Workshop이 열렸고 1992년에는 미국 NFS가 주최한 Workshop on Intelligent Control이 열렸다. 특히 1990년대에 들어와서 Handbook of Intelligent Control 등이 나오는 등 Monograph들이 나오기 시작했으며, 그때 그때의 관심분야를 다루는 IEEE 제어시스템 매거진에서는 '94년과 '95년 계속하여 특집의 형태로 「지능제어」에 대한 소개를 하고 있다.

III. 「지능제어」구현을 위한 두 입장

그 동안 여러 사람들이 “「지능제어」란 이런 것이어야 한다”는 식으로 정의(Definition)를 내려보았으나, 많은 사람들이 편안하게 받아들일 수 있는 함축적인 정의는 아직 없는 듯하다. 학자마다 「지능」에 대한 나름대로의 경험과 관점이 다르기 때문일 것이다. 1994년 IEEE Control System Magazine 6월호에 S. Yukovich가 쓴 다음과 같은 재미있는 코멘트가 이를 잘 반영하고 있다.

“만약 당신이 「지능제어」라는 어휘가 들어있는 연구제안서를 쓰고 있다면, 그리고 특히 그 제안서로 연구비를 지원받는다면, 당신은 「지능제어」분야에 종사하고 있다고 말할 수 있다.”(“If you write a proposal which uses the term ‘Intelligent Control’ and especially if you get your proposal funded, then you are working in the area of Intelligent Control”)

수많은 지능제어(IC)에 대한 정의들은 나름대로 특색이 있고 각각 서로 달라보이나, 그럼에도 불구하고 모두 모아 놓고 보면 크게 두 가지 종류로 분류할 수 있다. 즉, 각각

1. 존재론적 입장(Ontologist's¹⁾ Position)

2. 현상론적 입장(Phenomenologist's²⁾ Position)

에서 본 정의라는 것이다.

1. 존재론적 입장(X-view)

존재론적 입장을 취하는 학자들은, “지능제어기란 지능이 있는 제어기이다.”(IC=Controller that is “Intelligent”)라는 시각을 갖고 있다. 그리고 나서, “「지능(Intelligence)」이란 근본적으로 무엇인가?”를 이해하려는데 주력하는 입장이다.

지능자체를 이해하는 노력은, 철학, 심리학, 언어학, 의학, AI 등 여러 분야에서 각양각색으로 행해지고 있다. 재미있는 몇 가지 예를 소개하기로 한다. 영국 Bristol대학교의 Gregory교수는 지능을 다음과 같은 공식으로 표현하였다.^[4] :

$$\text{Intelligence} = \{\text{Kinetic Intelligence}\} \cup \{\text{Potential Intelligence}\}$$

$$\text{K. I.} = \text{Capability related to Knowledge Production and Learning}$$

$$\text{P. I.} = \text{Power to solve problems (not algorithmically) to handle uncertainty and autonomy}$$

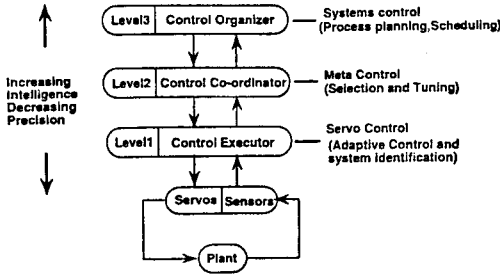
이 정의가 흥미로운 것은 철학이나 심리학에서 시도된 「지능」에 대한 정의보다 구체적이며 실체가 있어 보인다는 점이다. 그러나, 인공지능(AI)의 정의와 같이, 공학적으로 구현하고 측정하기에는 범위가 넓고 아직도 추상적인 감이 든다.

G. Saridis는 지능제어의 구현을 위하여 기계지능(Machine Intelligence)이라는 개념과 IIDP원칙에 의한 계층적제어구조(Hierarchical Control Architecture)를 다음과 같이 제안하고 있다.

$$\text{기계지능} = \text{데이터를 해석하고 정돈하여 일종의}$$

1) Ontology = the branch of metaphysics dealing with the nature of being reality or ultimate substance.

2) Phenomenology = the branch of science that classifies and describes its phenomena without attempt at metaphysical examination.



(그림 2) IIDP에 의한 3단계 계층제어 시스템 구조

기계지식(Machine Knowledge)으로 변환하는 과정

기계지식 = 지능기계에 주어진 과제에 관련된 무지 또는 불확실성을 제거하는 정돈된 정보

IIDP 원칙 = Increasing Intelligence Decreasing Precision Principle

(그림 2)에 지능제어시스템을 구현하기 위한 3단계 계층구조의 예를 보여주고 있다. G. Saridis에 의해 주창된 기계지능지수(Machine IQ)의 개념이 앞으로 활발하게 쓰일 수 있을 것으로 보인다.

최근 “계산지능(Computational Intelligent)”을 주제로 하는 IEEE 종합 학술대회^[3]에서, J. Bezdek은 지능(intelligence)을 다음의 세 종류로 구분하였다.

BI = Biological Intelligence

AI = Artificial Intelligence

CI = Computational Intelligence

그는 또한 이 세 종류의 지능은 복잡도(Complexity)에 따라 각각 Organic Level, Symbolic Level 및 Numerical Level의 단계에서 이해되어야 한다고 덧붙였다.

구체적으로, 계산지능을 갖는 시스템(Computationally Intelligent System)이란 수치데이터만을 다루며, 패턴인식기와 같은 구성요소 즉 기능(Function), 구조(Structure), 형태(Form) 및 학습데이터 등이 정의되고 적응성, 내고장성, 빠른 운영속도 및 오차처리의 최적성 등의 성질이 있는 시스템으로 정의하였다.

즉, 순수한 의미의 계산적 시스템(Computational

System)이란, 코드화된 지식을 다루는 것이 아니라 인공감각기에 의해서 제공되는 수치데이터만을 다룬다. 역행렬계산(Matrix Inversion)이나 pixel-based image segmentation 등이 이 시스템에서 수행된다. 이에 비해 인공시스템(Artificial System)은 계산적시스템에 지식조각(Knowledge Tidbits) (=piece of relevant information)들이 첨가된 시스템을 말하며 Biological Intelligence는 사람의 마음으로 나타내지는 Software로 기술된다.

Jim Bezdek의 새로운 정의는 그동안 인공지능(AI)이 인간지능(Human Intelligence)을 목표로 발전방향을 설정하였기 때문에 많은 결과들이 구체적이지 못하고 추상화되는 경향이 있음에 반발하여 시도한 것으로 보인다.

끝으로 1994년 IEEE CS Report에 소개된 「지능」에 대한 정의를 소개한다.

Intelligence = Property of a system that emerges when the procedures of focusing attention, combinational search and generalization are applied to the input information in order to produce the output.

이런 지능을 갖는 지능제어시스템은 어떤 것이겠는가? R. Shoureshi는 1993년 T-ASME의 한 article을 통하여 지능제어시스템(ICS)를 다음과 같이 정의하고 있다.

ICS = Automatic Control System with the ultimate degree with autonomy in terms of self learning, self reconfigurability, reasoning, planning and decision making and the ability to extract most valuable information from unstructured and noisy data for any dynamically complex system and/or environment.

M. Kokar는 지능제어시스템을 타협이 가능한 목표(goal)를 갖는 시스템으로서 학습기능(Learning capability)을 갖고 감지-추론-행동(Perception-Reasoning-Action)의 형태를 갖춘 시스템이라 정의하고 있다.

“지능”을 이해하는 것을 우선하는 관점은 실제적인

지능제어시스템(Intelligent Control System)을 구현 하는데 아직은 크게 기여하고 있지 못한 것 같다.

「지능이 무엇이나?」(X = Intelligence)를 아는 것은 상당한 숙제임에 틀림없다.

2. 현상론적 입장(H-view)

또 한가지 관점은 휴먼-인더룹(Human-in-the-loop) 시스템에서의 인간이 전형적인 지능제어기의 성능을 갖고 있다고 보는 입장이다. 즉, 이 입장은 그 성능이 인간과 비슷한 제어기를 지능제어기라고 부른다 (i.e. IC = Controller whose performance is human-like). 이 접근방법에서는 기능적으로 시스템의 I/O 성능패턴이 인간 또는 동물이나 생물체의 I/O-행동패턴과 비교하여 얼마나 비슷한 결과를 내느냐에 보다 관심이 있다.

한 예로서 K.M.Passino^[2]는 어느 방법이든 그것이 인간/동물/생물체의 기능에 근거하여 얻어진 기술 또는 행동패턴에 의하여 모델 표시나 의사결정과정 등이 이루어지는 제어기라면 지능제어기라고 부를 수 있지 않겠는가 하고 제안하고 있다. 즉 인간/동물/생물체가 행하는 제어기 등을 모사(emulation)하거나 수행하는 제어기를 지능제어기라고 부르자는 말이다.

이러한 입장에서 개발되어 온 지능제어방법이나 관련기술로는

- Expert (Knowledge-based) Control
- Fuzzy Logic Control
- ANN-based Control
- GA-EC-based Control

등이 있고, 카오스(Chaos)나 인공생명(A-Life)기법 등이 개발되고 있다. 이 방법을 우리는 인간관련(Human-related) 방법이라 하여 H-view라 부르기로 한다.

IV. 지능제어시스템의 요건

전 절에서 간단하게 검토해 본대로, 지능제어시스템이 무엇이나에 대한 정의를 명쾌하게 내리기는 어려우나, 그것이 갖추어야 할 특성내지 요건 등에 대하여 나

열하는 것은 비교적 쉬운 일이다. 각종 논문이나 해설문 등에서 언급되는 요건들을 나열해 보면 다음과 같다.^{[1], [6]}

- (1) 학습(Learning)기능 : 과거경험을 토대로 향상된 성능을 유도하도록 지식기반을 변경하는 기능
- (2) 추론(Reasoning)기능 : 결정기능(Decision-function)의 일반화 기능
- (3) 자율성(Autonomy) : 목표(goal)설정 및 달성기능
- (4) 재구성기능(Reconfigurability) 또는 확장기능(Extensibility) : 제어시스템 구조변경기능
- (5) 문제해결능력(Problem Solving)
- (6) 계획 및 결정능력(Planning and Decision Making)
- (7) 고장진단(Fault Diagnosis) 및 대처기능 또는 고장감내기능
- (8) 신뢰성(Reliability)
- (9) 내부기능변화에 대처하는 기능(Homeostasis)
- (10) 강인성(Robustness) : 비정규적인 조건에서 주어진 기능을 할 수 있는 능력
- (11) 반응성(Reactivity) : 외란에 즉각적으로 반응하는 능력
- (12) 정확성(correctness) 또는 에러를 최소화(Error-rate Optimality) : 정해진 동작요건을 정확하게 잘 수행할 수 있는 능력
- (13) 최적 지향성 자기개선능력(Optimality Oriented Self-Improvement)
- (14) 불확실성/복잡성 대처능력(Uncertainty/Complexity Handling Capability)
- (15) 일반화성(Generalizedness) or Compatibility
- (16) 적응성(Adaptivity)
- (17) 높은 계산속도(High Computational Speed)

이상에 열거한 것 외에도 더 많은 다른 요건들이 더 있을 것이다. 그러나 이상에서 보인 여러 요건들을 관찰해 보면 의미상 서로 중복된 표현들이 여럿 있음을 알 수 있다. 종합컨데, 지능제어기에 필요한 가장 근본적인 중요한 요건을 3가지 열거한다면 다음과 같이 말할 수 있다.

- (1) 불확실성에 대한 대처기능(Uncertainty Handling Capability)
- (2) 학습기능(Learning Capability)/또는 적응기능(Adaptivity)

(3) 목표달성을 위한 최적지향성(Optimality for Goal Achievement)

이들에 대해 좀더 자세히 알아보기로 한다.

1. 불확실성/미가지성에 대한 대처기능

어느 시스템이든 알고리즘에 따라 프로그램된 그대로만 행하는 시스템은 지능적이라고 말하지 않는다.

제어하고자 하는 시스템에는 여러 가지 형태의 불확실성 및 미가지성(未可知性) 요소들이 존재한다. 외란, 내부포노먼트의 열화 또는 고장, 신호측정 노이즈 및 에러, 시스템 복잡성(Complexity)에 따른 미가지성 등이 그것이다. 이들에 대한 대처기능으로 시스템을 설계할 때 강인성(Robustness) 성질이 있게 한다든지, 노이즈필터 또는 외란거부필터를 부착하는 수가 있고 다중 여유도(redundancy)를 써서 고장(Fault)을 감내하거나 여러 모드의 시스템을 스위칭을 통하여 시스템을 재구성하는 방법을 쓸 수 있을 것이다.

이 과정에는 필연적으로, 액션을 취하기 위하여 조건 만족여부를 계산하는 과정이 필요하며 이에 는 일종의 추론과정(Reasoning)이 개입된다. 고전적인 이치논리나 Symbolic Processing차원에서의 추론은

If x is A Then y is B
 x is A

Therefore y is B

의 추론과정만을 수행하고 있는 반면, 퍼지논리는 입력값이 전진부 조건값과 다른 경우에도 유사관계를 활용하여 결론을 유도한다. 즉,

If x is A Then y is B
 x is A'

Therefore y is B'

의 일반화 추론과정을 퍼지논리는 행사할 수 있으므로 보다 유연한 결과를 얻을 수 있다. 이를 근사추론(Approximate Reasoning)이라 하며, 지능제어시스템이 기존의 기계와는 다른 “일반화(Generalization)”성격을 갖추게 하는 주 도구 중 하나이다.

2. 학습기능

주어진 시스템이 같은 잘못을 계속 반복하여 저지르는 것도 역시 스마트하지 못하다. 학습은 곧 지능의 가장 중요한 요소중의 하나이다. 그러나 기계가 배운다는 것은 구현하기가 까다로운 개념으로서, 많은 경험을 통해 인공지능(AI) 학자들은 다음과 같이 결론짓고 있다:

“거의 모든 것을 알고 있지 않은 한 아무것도 배울 수 없다.”

(You cannot learn anything unless you know almost everything)

학습을 구현하는 학습알고리즘(Learning Algorithm)들은 학습정보를 어떻게 추론하여 획득하는가에 따라

(i) 귀납적 방법(Inductive Type)

(ii) 연역적 방법(Deductive Type)

으로 나눌 수 있고, 이들은 각각 어떤 형의 데이터를 처리하고 계산하는가에 따라

(a) 기호식(Symbolic) 형태

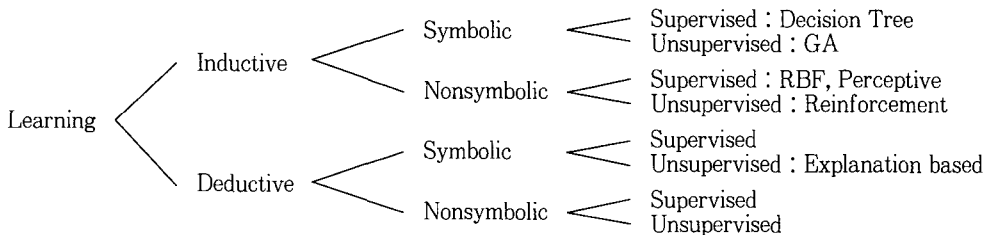
(b) 비기호식(Nonsymbolic) 형태

으로 나눌 수 있으며, 트레이닝 예제(Training Examples)의 유무에 따라

(1) 관리형(Supervised Type)

(2) 무관리형(Unsupervised Type)

로 나눌 수 있다. 이들의 구분트리틀 <그림 3>에 보이고 있다.



<그림 3> 학습알고리즘의 트리(Tree)

학습기능만을 구현하는 제어기로서 메모리형의 반복학습제어(Iterative Learning Control), 규칙 기반의 퍼지자기구성제어(Fuzzy Self-organizing Control), 그리고 가장 많이 이용되는 네트워크 타입의 신경망제어(Neuro Control) 등이 있다.

3. 최적 지향성

우리가 새로 고안한 지능제어기에 대하여 기존의 방법으로 더 잘 제어되고 있는 제어기를 만들 수 있는 경우, 우리는 새로 고안한 것을 지능제어기라고 부르지 않는다. 어쨌든, 그 당시에는 기존의 것보다 더 나은 특성이 있어야 지능제어기라고 부르게 된다. 즉 지능제어기는 최적지향성을 갖고 있는 것이다. 또한 이것은 지능정도(Degree of Intelligent)와 관련있는 요소이다. 어느 시스템이 학습도 할 수 있고 불확실성에 대한 대처기능을 갖고 있다고 하더라도 그 배우는 속도나 대처기능의 효과가 나타내는 타이밍이 매우 느리다면 실제적인 시스템으로서 기능을 하지 못할 것이다. 따라서 학습기능이나 추론기능 등을 언급할 때는 효율성 및 속도개념이 간접적으로 내재되어 있다고도 할 수 있다. 그런데, 문제는 상대성이다. 두 시스템이 있을 때 하나는 다른 하나보다 모든 요소를 비교해 볼 때 월등히 좋다고 하면, 좋은 것은 지능시스템(intelligent system)으로서 남아있을 것이나. 열등한 것은 적자생존의 원칙에 따라 없어지고 만다. 우리가 새로 고안한 시스템이 적어도 한 요소이상 이런 최적합 지향적성질이 없는 시스템이라면 그것을 지능시스템이라 부를 수 없는 것이다. 지능시스템이 정확성(Correctness) 성질을 가져야 하고, 특수한 경우가 기존시스템이 되는 일반화성(Generalized System) 또는 기존시스템과의 상존성(Compatibility)이 필요한 이유가 그것이다.

V. 지능시스템과 소프트컴퓨팅기술

요약컨대 지능시스템이 갖추어야 할 3대 요소를

(1) 불확실성 대처기능

(2) 학습기능

(3) 최적합지향성기능

이라고 할 때 소위 이러한 기능을 구현하는 수단으로서

(i) 퍼지논리(Fuzzy Logic)

(ii) 인공신경망(ANN)

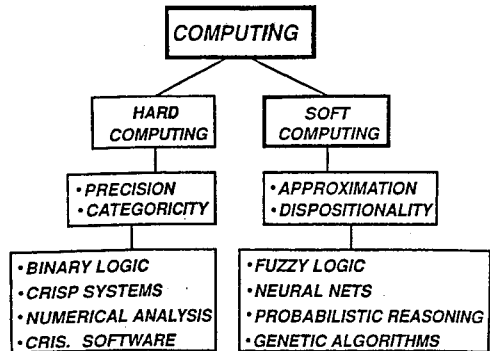
(iii) 유전자알고리즘/진화연산(Evolutionary Computing)

을 대표적으로 꼽을 수 있을 것이다.

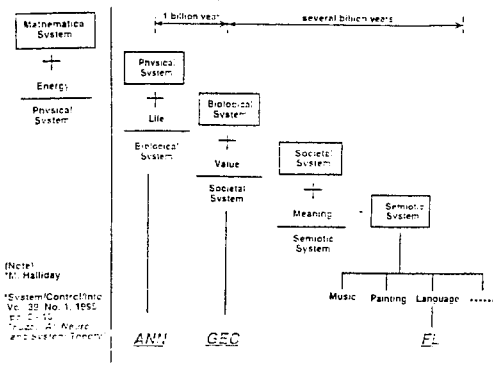
L. Zadeh는 이상의 3가지 기술을 묶어 소프트컴퓨팅(Soft Computing) 기술이라고 말한다. 소프트컴퓨팅에서는 인간의 뇌에서 진행되는 추론과정(Reasoning)을 구현하는 것을 목표로 하고 있다. 알려진 대로, 인간추론에서 다루는 요소들은 기본적으로 근사적이며 비수치적이고, 언어적이며 그리고 상식적인 조작을 통해 이루어지며 인간의 경험은 대체로 fuzzy if-then 규칙의 형태로 저장되고 추출되어 사용된다. 즉 소프트컴퓨팅에서는 인간이 갖고 있는 부정밀성 및 불확실성에 대한 가능한 감내정도를 찾는 것이 주요 목적이다.

〈그림 4〉에 기존의 하드컴퓨팅과 새 분야로서의 소프트컴퓨팅을 보여주고 있다.

자데 교수는 FL은 언어로 계산하는 분야(Branch of Computing with Words)라고 잘라 말하고 있다. 〈그림 5〉에서는 호주의 언어학자 M. Halliday의 개념적 시스템 형성론을 보여주고 있다. 인공신경망(ANN)이 생물시스템(Biological System)에서 그 기본구조를 빌렸다고 보고



〈그림 4〉 하드컴퓨팅과 소프트컴퓨팅



(그림 5) 각종 시스템과 소프트웨어 기술

유전알고리즘 GA/EC가 사회시스템(Societal System)에서 그 역할을 찾았다고 본다면, FL은 Semiotic Society의 주도구인 언어(Language)에 그 틀이 내재되어 있다고 말할 수 있다는 것이다.

VI. 결 론

「지능제어」는 수학적모델에 근거하여 발전되어 온 기존의 제어방법과는 여러 가지 면에서 다른 특징이 있다. 무엇보다도 지능제어에서는 지식 기반모델에 의한 근사추론을 통해 불완전하고 다소 모호한 각종 정보를 처리한다는 점이다. 지능제어의 핵심은, 다단계 계층구조로 표현할 때 최상위의 구조적 레벨(Organizational Level)에 해당하며, 그 주과제는 정돈되지 않은 주변상황에 대한 이해와 언어명령과 같은 부정확한 정보의 처리이다. 또 다른 특징은 「지능제어」는 여러 타 분야의 발전에 의존하는 학제성(Interdisciplinary) 성격이 강하다는 것이다. 지능제어의 소프트웨어는 현재, 뇌기능이라든가 바이오펜리즘의 운동원리를 흉내낸 알고리즘이 다수 있거니와, 하드웨어에 있어서도 향후 바이오칩과 같은 신소재를 활용한 제어기의 구현이 가능할 것으로 기대된다.

「지능제어」가 성공적으로 응용된 예로는

- (i) 우주정거장에서 쓰인 원격조정로봇(Telerobot)^[9]

- (ii) 에너지최적화 PNM제어, 가공조작최적화 공정, 온라인 스케줄링 제어 등을 포함한 생산공장의 지능제어^[10]

- (iii) 지능고장진단시스템^[11]

- (iv) 지능계측시스템^[8]

등이 있으며, 향후 대형의 복잡한 공장제어나 미지의 환경에서 작업하는 시스템, 지능로봇과 특히 인간우호시스템(Human Friendly System)의 제어에 많이 활용될 것으로 기대된다.

이상에서 소개한 바와 같은 다양한 제어문제를 다룸에 있어 기존의 수학적 모델에 기반한 현대제어이론이 풀 수 있는 문제는 상당히 제한되어 있다는 점과 지능제어(IC)의 개념이 거론되고 계속해서 발전되고 있는 것은 수학적 제어과학자에 의해서가 아니라 문제해결을 하고자 하는 제어공학자에 의해서라는 점을 기억할 필요가 있다.

많은 수학적 제어과학자(Mathematical Control Scientist)들은

“I have a theorem(or method) : let’s find a system (white box) for which the theorem works”

라고 주장한다. 그러나 실제문제해결을 중요시하는 제어공학도(Problem-Solving Control Engineer)는

“I have a system (black box) ; let’s find a method by which the system is well controlled”

라 외친다. 이들은 여러 종류의 연장을 갖고 있는 목수가 필요한 공구를 적재적소에 골라 쓰듯이 소프트웨어 기술(Soft Computing Technique)과 같은 새로운 기술을 기존기술과 구별없이 공유한다. 전자의 학자들은 수학적이 아닌 것은 상당히 위험하고 믿을 만하지 않다고 말한다. 후자의 엔지니어들은 말하기를 수학적인 것은 시뮬레이션을 위한 컴퓨터를 떠나서는 거의 아무 쓸모가 없지 않는다고 하고 반문한다.

일반적으로, 지능제어이론들이 엄밀한 수학적제외는 달리 이론적 통일성과 완전성(Completeness)이 결여되어 있으므로 일반성(Universality)에 있어 제한적이며, 또 일부 초보자들이나 매스컴에 의해 이들 새 기술들을 쓰면 많은 것이 쉽게 해

결될 수 있다는 잘못된 주장 때문에 필요없는 거부감을 일으키고 있는 실정이다. 앞으로 지능제어분야에서 종사하는 학자 및 연구자들의 심도있는 정진과 기존의 제어과학자들의 열린 마음이 합하면 보다 발전된 자동제어분야의 발전이 이루어질 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] D. White and D. Sofge(ed), Handbook of Intelligent Control : Neural, Fuzzy and Adaptive Approaches, Van Nostrand Reinhold 1992.
- [2] *IEEE Control Systems Magazine*, vol. 14, no. 3, June, 1994 (Seeking the essence of Intelligent Control).
- [3] J.C.Bezdek, "What is Computational Intelligence?" in Computational Intelligence : Imitating Life (J.Zurada, R.Marks II and C.Robinson Edition) *IEEE Press*, 1994.
- [4] R. Gregory, "Intelligence based on knowledge-Knowledge based on Intelligence", in *Creative Intelligence*, R. Gregory and P. Marstrand (Ed), Frances Pinter, London, 1987.
- [5] Z. Bien, "Intelligent Control as an Alternative : Some Thoughts and Survey", presented at *China-Korea Joint Workshop on Automatic Control*, Shenyang, China, Aug. 19~22, 1995.
- [6] 김 종환 심 현식, "지능제어의 새로운 연구 동향", 전기학회지, pp.27~33, 제44권 3호, 1995년 3월
- [7] 변 증남, "차세대 주도형 퍼지제어기술의 신 전개 : 연재 Fuzzy 강좌 제 16장 퍼지제어와 지능제어시스템", 월간 자동화기술, pp.122~131, 1995년 9월호
- [8] C. Zixing, Intelligent Control, 電子工業出版社, 1990.
- [9] Albus, J. S., Lumia. R., and McCain. H, "Hierarchical Control of Intelligent Machines Applied to Space Station Telerobots", Proceedings *IEEE ISIC '87*, pp.20~26, 1987.
- [10] Watanabe. T., et. al., "Intelligent Control in the Hierarchy of Automatic Manufacturing Systems", Proceedings *IEEE ISIC '87*, pp.42~47, 1987.

저 자 소 개

卞 增 男

1943年 10月 11日生

1969年 2月 서울대학교 공과대학 전자공학과(B.S)

1972年 5月 The Univ. of Iowa, Dept. of Elec. Eng.(M.S)

1975年 12月 The Univ. of Iowa, Dept. of Mathematics(M.S)

1975年 12月 The Univ. of Iowa, Dept. of Elec. Eng.(Ph.D)

1975年 6月~1977年 6月 연구원및 객원 조교수-The Univ. of Iowa (Iowa City, Iowa, U.S.A)

1977年 7月~현재	교수 - 한국과학기술원
1981年 9月~1982年 8月	객원 부교수 - The Univ. of Iowa(Iowa City, Iowa, U.S.A)
1987年 9月~1988年 2月	객원연구원 - CASE Center at Syracuse Univ. (Syracuse, N.Y., U.S.A)
1988年 3月~1988年 5月	객원 교수 - Tokyo Institute of Technology(Tokyo, Japan)
1988年 ~1989年	로봇틱스 및 자동화 연구회 초대간사장
1993年 7月	국제 퍼지 시스템학회 세계대회 총회장
1990年 7月~현재	한국과학기술원 산업전자기술연구센터 소장
1991年 1月~1991年 12月	대한전자공학회 편집위원장
1991年 3月~1992年 2月	한국과학기술원 교수협의회장
1992年 3月~1993年 1月	한국과학기술원 교무처장
1993年 1月~1993年 8月	한국과학기술원 학장 겸 교무처장
1990年 12月~현재	한국퍼지시스템학회 회장

주관심 분야: 자동제어이론, 로봇틱스 및 자동화, 지능제어시스템(퍼지제어이론)