

자동화 System에서의 Knowledge Engineering

—철강관련 자동화를 중심으로—

李 鎔 賢

포항종합제철 기술본부 기술연구소 계측제어연구팀

“자동화”란 단어는 서구의 어원을 보면 그리스의 “스스로 움직인다”라는 “Automatos”에 그 근원을 둔다. 즉 대상을 자동화 한다는 것은 “살아 있는 생물의 동작을 모방한다”는 것으로, computer가 자동화에 쓰이기전에는 이를 기계적으로 모방하는것이 주류를 이루었다^[1]. 그러나 전기,전자 및 computer 공학의 발달로 이런 기계적인 모방에서 단순작업에서 작업자를 대체하는 의미로서 산업의 자동화의 개념이 자리잡았다. 이 결과 계측제어 기술의 상위개념으로서 자동화 개념이 사용되었다;이 기술의 핵심은 연속적인 process의 경우 제어대상과 제어기의 수학적모델을 세워 simulation을 통해 parameter를 최적화 하는 제어기설계기술과 비연속적인 process의 경우 -기계조립공정 등- 논리적인 작업 순서를 computer에 program화 하는 것이다. 여기서 제기하고자하는 문제점은 “동작을 모방한다”, “수학적 모델링” 그리고 “논리적인 작업 순서 정한다”는 한다는 것이다.

본 논문에서는 위의 문제점들을 재고하고 이의 대안으로서의 그리고 knowledge engineering의 방법으로서 fuzzy논리(fuzzy logic), 인공신경망(neural network)을 소개하고 철강 process자동화에서의 knowledge engineering 사용예를 소개하고자한다. 그러나 그외의 산업분야에서도 knowledge engineering이 응용될수 있으리라 생각된다.

II. 문제점

현재의 복잡한 계측제어 system에서 작업자의 작업은 작업자를 포함하여 제어폐회로(closed loop control system)를 형성한다.이때 작업자의 오감은 sensor의 역할 작업자의 행동(조정)은 제어기의 역할을 한다고 할수있다. 이러한 이유로 자동화의

정도(automation grade)는 이러한 작업자의 행위 전체를 계층제어system으로 대체함을 의미하지만, 제어패회로의 일부이던 작업자의 역할을(동작을 모방한다는 개념으로서) 모델링하는 방향보다는 수학적인 제어공학적 접근으로 해결해왔던것이 사실이다. 이 사실은 첫째 한 작업자가 가지고 있을수도있는 그의 경험적 내지는 선행적 지식의 활용이 없다는것이고, 둘째로 동작을 모방한다는 의미를 “동작과 작업자의 판단(추론)”을 모델링하는 방향으로 확대되어야 한다는것이다. 이를 위해 물론 소위 전문가 system이 연구 적용되었지만 초기의 기대에는 현재의 성과가 못미치는 상태인것이 사실이다 -그 이유에 대해 추후 설명키로 한다.-

자동화 system을 설계시, 자동화대상(process)에 대한 모델링은 설계 첫단계이다. 엔지니어는 그 process를 이해하고 대상의 물리적 또는 화학적 관계의 규칙성을 수식으로 표현한다. 그러나 공학에서 원용한 물리적 또는 화학적 관계는 대부분 실제 공학에서 그대로 사용하기엔 이상적인 상황일뿐이다;예를들어 Newton의 제2법칙인 $F=ma$ 를 자유낙하하는 물체에 실 적용 또는 공학적 모델링 하고자할때 공학자는 분명 공기저항, 바람의방향 및 세기등을 고려하지않으면 안될것이다. 또한 이렇게 세워진 모델에는 설계자가 대상을 보는 관점, 제어기의 필요성에 대한 인식, 경제성 그리고 그의 지식의 한도내에서 세워지기 마련이기때문에 이자체에도 불확실성(uncertainty) 내지는 주관성이 내포되었기 마련이다. 이는 우리 공학도가 신봉한다고까지 표현될수있는 수식과 객관적인 관찰에 기초한 기계론적인 서양의 자연과학에 영향이라 할수있겠다.

모든 학문영역에 사용되는 인간의 지식은 그것이 전문가의것이건 교과서적인것이건 또는 토론에 의해 형성된것이건 근본적으로 불확실성을 내포하고있다. 이 불확실성은 구조적으로 진-부(truth-false)의 2분법적인 (bianry)구조 -0 또는 1, 흑 또는 백-가 아닌 어느정도 회색적이기 때문이다; 예를들면 단어 “뜨겁다의 의미는 주관적 그리고 이 단어가 사용된 문장(해의 온도 와 목욕물의 온도에 따라 달라지기도 또는 그 단어의 진의 또한

100% “뜨겁다”가 아닌 경우가 많다. 지식을 규칙(rule)의 형태인 고전적논리로 표현한다면 이 사실이 보다 분명해진다;”만약 A 이면, B 이다”의 규칙에서 그의 타당성은 몇가지 전체를 필요로 한다²⁾, 즉

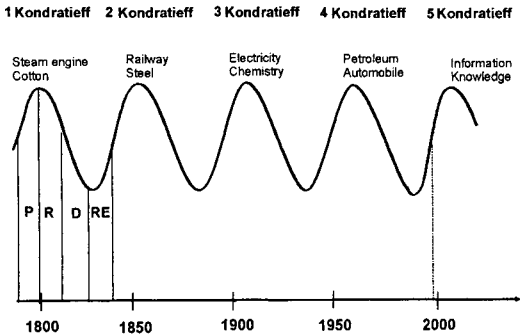
- 1) A 와 B는 결정적(deterministic) 명제이다.
- 2) A 와 B에 포함된 현상들은 명확하게(일의적으로) 정의된다.
- 3) 실제적으로 관찰되는 A'와 위 규칙에 포함된 A는 동일하다.
- 4) 위의 규칙은 진(truth)이고 다른 규칙과 모순이 안될뿐더러 (A 와 B가) 존재해야하고 (\exists), 모든 (A,B)값에서 유효하다 (\forall).

일상적인 상황에서 위의 전체가 맞지않는 상황을 찾는것은 그리 어렵지않다;“먹구름이 많이 끼면, 비가올 확율이 많다”는 규칙은 정성적인 또는 불명확한 (“많다”) 그리고 확율적인 명제가 포함되어 있고 전체3)또한 주관적인 판단에 기인하여 이 전체조건을 만족하지 못할수있다. 즉 관찰되는 사실, 규칙자체 그리고 명제에 사용되는 자연어의 단어들에는 근본적으로 불확실성을 내포하고있고, 지식을 모델링한다는것은 결국 이러한 불확실성을 모델링 한다는것이 될것이다. 기존의 전문가 system들이 불확실성factor(또는 certainty factor)를 사용하였지만 결론부 에만 이 factor를 사용하고 추론시 사용되는 각각의 규칙들은 2분법적인(bianry)구조를 가졌기 때문에, 위에서 언급했다시피 초기의 기대에 못미치는 결과를 낳았다. 결국 지식표현의 수단인 규칙으로 표현된 논리체계를 기존의 구조로서 모델링하는것에는 한계가 있고 이한계를 극복하기위한 한 방법으로 fuzzy논리가 도입되었다. 이로서 인간의 부정확한 언어로 행해지는 추론과정과 또한 언어요소 그자체 -단어-를 정량화하는 fuzzy이론은 언어로 표현된잔정보, 지식을 modelling하는 -지식의 정형화 (formalization)- 지식base의 engineering의 (know-ledge engineering) 한 방법이라고 할수있다.

III. Knowledge Engineering

1. Knowledge engineering의 의미

1920년대 러시아의 경제학자 N.D.Kondratieff는 18세기의 증기기관의 발명 이래 경기상승과 하강이 어떤주기를 가지고 변동하고 각주기의 경기상승을 주도하는 신기술 또는 발명이 있어왔고, 있을것이라는 예측을 (그림 1)과 같이했다. 이러한 Kondratieff 주기는 현재까지 적용되었고 Kondratieff 제5주기는 진행중이다; 즉 이 주기에는 정보와 지식이 -잘 알려진대로- 고전적인 생산요소인 에너지 인력 원자재와 함께 중요한 요소로서 폭발적인 경기 상승을 주도하게 될것 이다. 정보와 지식은 다른자원(resource) 과는 달리 무한한반면 구조화 조직화되어야 할뿐더러 정형화(formalization)되어야 유용 하게 쓸수있기 때문에 다른 자원과 마찬가지로 운송(communication)과 처리(information processing, knowledge processing)의 방법이 주요문제가 될것이다.



<그림 1>

Knowledge engineering은 인간의 지식을 정형화하여 처리 가능케해서 이를 산업에 응용하는것이라 정의 할수있다. 산업의 자동화측면을 본다면, 기존의 계측제어기가 단순히 수학적으로 표현된 지식만을 활용했다면, 보다 발전된 자동화system에는 언어의 주관적성질 또한 인간의 판단(추론) 기능등이 knowledge engineering측면에서 활용되어야 할것이다. 이를 위해 fuzzy논리는 인간의

추론방법에 대한 모델링의 한방법이고, 인공신경망(Neural Network : NN)은 인간의 물리/화학적인 뇌의기능을 hardware적으로 이해 모방함으로써 fuzzy technology와 상호보완적 역할을 할것이다.

2. Introduction

인간의 인지력은 비록 기계나 전자적인 sensor에 비해 상대적으로 정도가 떨어지는 “sensor”에 의해 한계를 가지지만 그의 “지능”에 의해 주위의 환경에 “잘”적응 한다는 사실은, 결국 주위의 복잡한 연관성을 인식하고, 그로부터 최적화된 결정을 할수있는 능력에 기인한다. 이는 결국 어디에 어떻게 존재하는지 모르지만 그의 “경험”이 중요한 역할을 하는것이다. 이러한 경험과 그로부터 얻어진 지식은 대부분 부정확(fuzzy)하다, 왜냐면 인간은 모든 data 및 정보를 저장할수 없기때문이다. 이는 아마도 인간이 외부로부터 얻은 정보,지식을 압축하거나 정보의 관계만을 저장해서인지도 모른다. 분명한것은 인간은 지식과 정보의 복잡성을 감소(reduction of complexcity)하는 능력이 뛰어나다고 할것이다.

인간은 이러한 의미로 볼때 자신이 가진 지식 정보중에 필요한 부분만을 추출하는 일종의 자연적인 “filter”를 가지고 있다고할수있다; 예를들면 한 사람이 어떤 한 주어진 공간에서 많은 사람속에서 다른 사람을 찾고자할때, 먼저 그는 찾고자하는 사람의 한가지 특징 -키- 을 추출해 찾기시작하고 연속적으로 다음특징으로 -옷차림- 또는 병렬적으로 찾아나갈것이다. 이렇게 함으로서 그가 그 공간의 모든 Data(정보)를 “scanning”할지라도 정보를 점차적으로 줄여나가면서 단지 핵심적인 정보만을 처리할것이다. 이러한 특징추출은 일종의 정보의 압축임과 동시에 정보의 퍼지화(fuzzification)로서 fuzzy이론은 이러한 “부정확”한 처리의 원리로 볼때 fuzzy-filter로 해석할수도 있다.

이러한 인간의 filtering능력은 인간이 사용하는 자연어의 특징에서 찾을수있다. 인간의 언어는 아직까지 상호간의 정보나 지식 그리고 경험을 교환하는 가장좋은 수단임에도 불구하고, 모든것을 가

능한 -대부분 수학적인 식으로- 정확히 설명하려 했다. 물론 이러한 방법은 역사적으로 많은 산업 발전에 기여했다는것은 누구도 부인 하지못할것이다. 그러나 이와는 반대로 인간 사고방법을 기존의 인공지능기법으로도 모방 하는데는 성공을 못했던것이 사실이다, 왜냐하면 인간은 근원적으로 (수학적인 의미로서)정확히 사고할수가 없기때문이다. fuzzy이론은 인간의 언어로 표현된 부정확한 정보나 지식을 처리하고, 인간의 언어로 표현된 정보나 지식처리를 모방하는 한 방법인것이다. 위에서 언급했듯이, 또다른 접근방법은 인간의 학습방법을 hardware적으로 모방하는 인공신경망(NN)기법 일것이다.

3. Fuzzy 이론 과 인공신경망

고전적인 집합이론에서는 한 집합의 요소(Element)들은 “정의될수있는 공통의 한 성질을 가져”야되기 때문에, 어떤 대상은 그집합에 “속하거나” 아니면 “속하지않거나” 일뿐이다;가장간단한 집합은 함수인데, M이란 함수가 아래와같이 정의되면, $M = \{x \mid x \text{는 } 175(\text{cm}) \text{ 이상인 정수}\}$, 수 176(x_1)은 집합M에 속하고($x_1 \in M$), 수 174(x_2)는 집합M에 속하지 않는다($x_2 \notin M$). 이를 소속함수(membership function : $\mu(x)$)로 표시하면, $\mu(176) = 1$ 이고, $\mu(174) = 0$ 가 되고, 이때 0과 1은 소속도(degree of membership)가 된다(그림2 위).

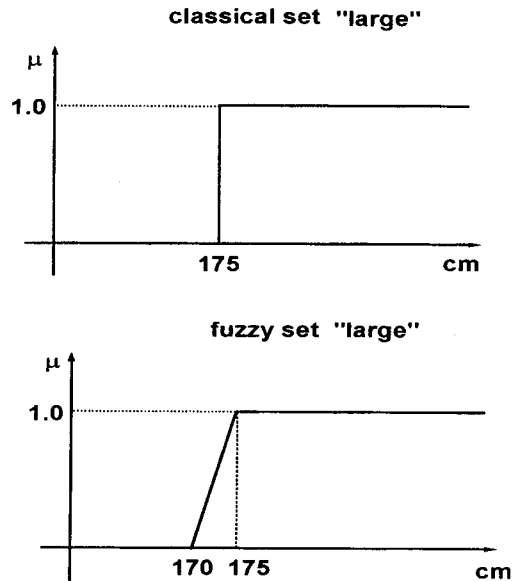
그러나 일상적인 대화나 지식의 표현들을 위의 집합정의로서 정의하기에는 부적절한 경우가 많다; $M = \{x \mid x \text{는 큰 키}\}$ 라는 집합을 정의하고자 할때, $x_1 = 173\text{cm}$ 가 집합 \hat{M} 에 속하는지 속하지 않는지는 불분명해진다. 즉 위의 명제 -특히 단어 “큰”- 의 어의적인(semantic)해석을 고전적 집합론에서는 정의될수 없기때문이다. 이러한 단어들은 fuzzy집합이론에서는 fuzzy집합으로 표현된 term들이라고 정의하고, 이 term들은 “언어(적) 변수(linguistic variable)-키-”의 값들이 되는것이다. 이는 언어로 표현되는 지식을 번역(transformation)한다는 의미와 언어자체가 갖고있는 풍부한 표현을 사용할수있다는 의미 그리고 지식을 이를통해 computer로서 처리 가능케하는 의미가 있

다. 또한 fuzzy집합은 고전적 집합론에서처럼 한 요소의 소속도가 단지 0과 1의 두값만을 갖는것이 아니고 0과 1사이의 값을 갖을수있다; 즉, 단어 “큰”을 fuzzy집합으로 표시하면 그림 2 아래와 같이 정의될수있고 173cm는 fuzzy집합 “큰”에 소속도(μ) 0.75로 속한다, 즉 위의 정의에 의하면 키가 173cm인 사람은 “큰”키인 사람의 집합에 약 75%정도 속한다. 이와반면에 고전적인 집합에서는 키가 176cm인 사람은 “큰”키인 사람의 집합에 속하고 키가 174cm인 사람은 “큰”키인 사람의 집합에 속하지않는 모순이 생긴다. 이론의 여지가 남아있지만 위의 예로보면 fuzzy집합은 고전적집합의 일반화라 할수있다.

고전논리학에서와 같이 fuzzy논리이론 에서도 명제들의 연결을 위해 기본적인 operator들 - AND,OR,NOT- 이 제안 되었다. 이러한 operation의 결과 또한 일반적으로 fuzzy화된 결과를 나타낸다;예를들면

1. 만약 구름이 많이끼고 흐리면, 비가 온다
2. 오늘은 구름이 많이끼고 약간 흐리다.

이때 논리의 결론은 과연 어떨까? “비가 올수도있다”라고 한다면, 이는 “비가 온다;그러나 이



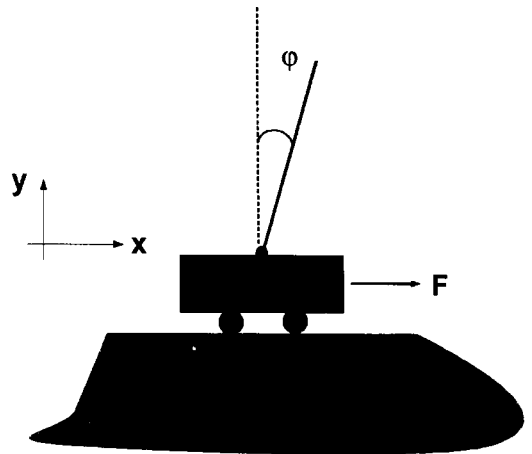
(그림 2)

결론의 진리값은 0.7"라고 해석 가능하다, 왜냐하면 전제1이 완전한 진(진리값=1) 이라고 가정할 때, 전제2는 전제1을 0.7정도 만족했기때문에(진리값 =0.7) 결론은 1 과 0.7중 최소값을 택해야 타당하기 때문이다.

Zadeh교수의 Fuzzy집합론의 아이디어는 기존의 제어기 설계방법을 사용할때 제어대상이 복잡해질수록 제어기 자체의 복잡도는 더욱더 증가함에 의문을 제기하면서 시작되었다고 한다. 이렇게 복잡해진 제어기는 결국 이를 설계한 엔지니어 자신도 관조(overview)할수 없게 된다는 것이다 (incompatibility principle). 이 이유는 제어방법이나 제어대상의 modelling을 수학적으로 하기때문이라는 것인데, 이는 수학적으로 표현된 모델을 tuning하고자할때 출력error에 연관된 모델내의 파라미터를 정확히 찾아내기 어렵게 된다는 것이다. 이러한 문제점을 인식한 Zadeh교수는 왜 linguistic model을 사용하지 않는가와, 어떻게 자연언어를 modelling할것 인가를 연구하여 퍼지이론을 제안하게된것인데, 이는 자연언어가 갖고있는 "모호성(vagueness)"과 "주관적성질"을 모델화한 것이다. 이는 결국 "knowledge engineering", "intelligent engineering"의 한방법이 된다는것으로, 인간이 수식으로 표현된 지식보다는 그들의 언어로 -data나 information보다 함축된 의미로서 - 지식을 전달하기 때문이다.

현대의 제어기법은 크게 두가지로 나눌수있는데, 첫째는 수학적 model-based control system design 방법이고, 두번째는 knowledge-based control system design 방법이다.

첫번째 방법은 control object(process)의 물리적 또는 화학적 규칙성을 수학적으로 표현함을 기초로 한다. 이 방법의 가장 큰 장점은 system이 제어가능하나, 안정한가 등을 수학적인 객관성으로 증명가능함에 있다. 단, 일반해나 증명은 선형system에 국한 가능하고, 비선형system의 경우는 그를 구할수 없거나, approximation의 방법을 사용한다. 또는 엔지니어의 직관이나 대상process의 특성을 고려해 model을 선형화하여 design하거나 on-line으로 제어 parameter를 정하는 방법을 사용한다.



(그림 3)

두번째 방법은, 엔지니어의 idea나 선형적(a priori)지식을 - 수학적 tool이 아닌 자신의 자연어로 표현된- system model로 사용하는것을 기초로 한다: 즉, 일반적으로 기존의 설계과정을 볼 때 어떤 엔지니어의 제어기설계 시작단계에서는 대부분은 수학적인 모델을 세우기전에 직관적(engineer sense)으로 control strategy를 결정한다. 그러나 다음 단계에서는 더이상 지식 model을 사용하지 않고 model을 수식으로 표현하고 그 수학적모델을 푸는데 집중하게된다. 이는 결국 엔지니어 본연의 제어기설계의 역할보다는 수학적모델의 계산과 증명의 일에 치중하게되는 반전된 상황이 되는 것이다. 그러나 knowledge-based control system 설계방법인 fuzzy제어는 자연어로 표현된 지식을 정형화할수 있게하고, NN방법은 process 내에 존재하는 특성을 학습케하여 그것을 designer의 지식으로 검증하게 한다;

$$(j+I^2 \cdot m_1) \cdot \ddot{\phi} = 1 \cdot m_1 \cdot g \cdot \sin\phi - 1 \cdot m_1 \cdot \cos\phi \cdot \ddot{S} - c \cdot \dot{\phi}$$

$$(m_w + m_1) \cdot \ddot{S} = F_a - F_R - m_1 \cdot 1 \cdot [\cos\phi \cdot \ddot{\phi} - \sin\phi \cdot \dot{\phi}^2]$$

$$x_1 = s; x_2 = \dot{S}; x_3 = \phi; x_4 = \dot{\phi}$$

$$\dot{x} = A \cdot x + B \cdot u =$$

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \\ \dot{x}_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & a_{24} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & a_{44} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ b_2 \\ 0 \\ b_4 \end{bmatrix} \cdot (F_a - F_R)$$

간단한 예로서 그림3의 제어대상을 각도φ=0도로

제어하고자할때 기존의 제어기 설계방법으로 process 모델을 세운다면 위의 식과 같이 될것이다. 여기에는 몇가지 문제점이있는데, 실시간제어를위해 system방정식을 선형화하거나 아니면 계산능력이 큰 computer로서 numerical하게 계산해야 할것이다. 또한 이 수식모델자체도 마찰계수(c, μ) 등을 정확히 정하기는 어려울것이다. 그러나 수학적 process 모델없이 우리는 -이 제어대상의 경우 - 상시적 센스로서 제어strategy를 일상언어로 표현 할수있는데;한가지 rule을 예로들면

IF(φ =positive big), THEN(F=positive big); 만약 막대기가 앞으로 많이(또는 빨리) 쓰러지면 앞으로 빨리움직여라.

이와같이 제어strategy를 IF-THEN 규칙으로 표현하여 지식을 제어설계시 이용하는것이 fuzzy 제어로서 fuzzy논리의 응용중에 현재까지 가장넓게 이용되는 분야이다;즉, fuzzy control은 정량화되지 않은 지식을 fuzzy이론을 이용해 정량화한것으로서, 제어model을 수학적으로 표현하지않고, 제어방법을 일상 자연어를 사용하여 지식base로 만들고, 그 base에 의해 제어하는 방법이다.

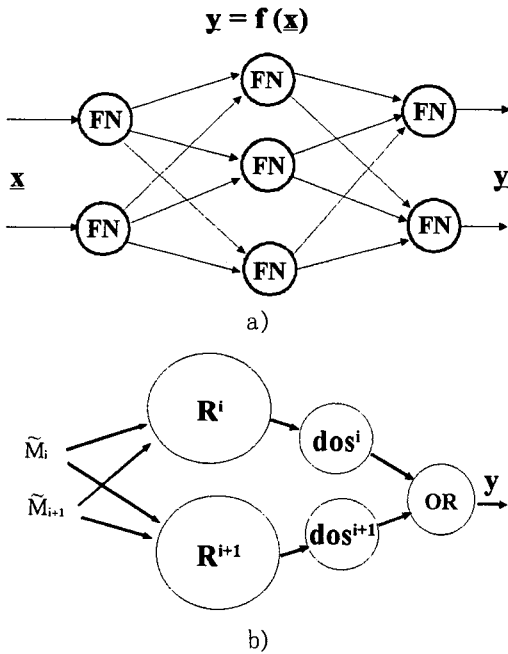
본 논문에서는 인공지능망(NN)에 대해서는 이론적배경보다는 fuzzy제어 및 knowledge engineering과 관계하여 짧게 언급하고자한다. 일반적으로 자동화 system은 지식모델이건 수학모델이건 실 system과는 차이가 생긴다. 한 plant의 설치초기에는 자동화 system이 만족스럽게 동작한다 할지라도, 시간적으로 변화하는 설비 및 process특성때문에, 또는 설계시 모든 영향인자를 고려하거나 예측할수 없기때문에, 모델의 일부 parameter를 on-line으로 결정케하는 적응제어 기법(adaptive control)을 사용한다. Open parameter들을 process의 출력치와 모델의 출력치의 차(model error)를 사용하여 결정하거나(model based adaption), 또는 process상태감시나 process identification을 통해 제어기의 parameter를 확인 또는 변화시키는 방법등 여러가지가 있다. 이런기법을 이용한다는 것은 선형적으로 알지못했던 정보나 지식을 -단순하지만-on-line으로 학습시키거나 정보나 지식을 채취한

다는 의미로서 간단한 knowledge engineering의 한 방법으로 해석할수있다.

Fuzzy제어기는 근본적으로 비선형제어기이고 조정되어야할 parameter수가 많은 특성이 있다. 이러한 이유로 fuzzy제어기에 적응제어기법을 점차 많이 사용하는데 그중 NN을 이용하는 방법이 있다. 이때 NN은 performance측정을 통해 제어기의 parameter를 조정하는 process observer 역할을 한다. NN의 가장중요한 기능은 학습(learning) 기능으로, 즉 부정확하고 완벽하지않은 예제로서(학습을 통해) 입출력의 관계(해답)를 찾아내는것으로서, 부연하면 한정된 경험(예제)을 바탕으로 어떤 학습방법을(학습알고리즘) 통해 평가(error estimation)와 수정을 하여 원하는 방향으로 학습시키는 과정이다. 여러 학습방법중 대표적인 두가지를 소개하면, 소위 "선생"의 지도하에 NN의 동작상태가 관찰 평가 및 수정되는 방법이고, 또하나는 "선생"이 없이 스스로 학습하되 잘할 경우는 "상"을 주고 못할때는 "벌"을 주는 방법이 있다. 전자의 경우 입력 vector와 원하는 출력 vector가 주어져야한다는 의미이고 NN이 계산한 출력vector와 원하는 출력vector의 오차가 주어진 오차범위보다 작을때까지 오차가 작아지는 방향으로 학습을 시키는것이다. 이렇게 학습이(완료)된 NN은 새로운 입력vector에의해 검증된다. NN의 실적용상의 문제점은 다음과 같다;NN의 크기와 구조의 초기결정, 최적의 학습방법의 결정, 학습예제의 대표성, 오차함수의 global minimum확인 방법, NN의 초기data결정, 전문가 지식의 이입, 학습결과의 해석문제 등 이다.

위의 사실로 볼때 fuzzy technology와 NN technology의 유사점과 상호보완적인 성질을 알수 있는데, 두기법 다 수학적인 모델을 사용치 않고 또한 비선형 전달함수의 특성을 갖고있다는 점이다. 또한 두기법은 각각 knowledge engineering의 중요한 기능인 추론과 학습기능을 갖고있으나 fuzzy technology는 학습기능이 없고 NN technology는 추론기능이 없다. 즉 NN의 단점은 학습된 NN은 동작이 잘될수도있지만 작동이유를 알수없고 또한 상황이 변하면 동작성이 떨어지는

성질이 있어 이들의 합하고자하는 시도가 있어왔다. 그중 두가지를 소개하면 그림 4와 같다. 그림4의a)는 NN의 각 neuron(FuzzyNeuron)에 추론의 기능을 줌으로서 기능을 합하였는데, 즉 입력 vector에 fuzzy집합을 줄때, 각 FN에 IF-THEN rule로 표현된 rule base를 구성하도록하였다. 그림b)는 가상모델로서(Gedanken Modell) rule base의 각 rule의 신뢰도(degree of support)를 학습시키는 모델이다. 이는 NN을 이용한 fuzzy rule 학습법이라 할수있다.



(그림 4)

IV. 철강 Process의 특징 및 Knowledge Engineering을 이용한 철강관련 Process의 자동화에 대하여

철강process는 한마디로 말한다면, 철광석을 용광로에서 녹여(제선) 정제한 다음(제강), 만들어진 쇳물을 형틀(mold)에 부어 고체로 만들고(연

속주조), 그것을 수요가가 요구하는 형태 및 성질로 만드는 과정(냉간압연, 열간압연, 열처리)을 일컫는다. 특히 이러한 process의 가장 큰 특징은 단위공정으로 이루어진 전공정이 material flow 측면 그리고 열관리 측면등에서볼때 연속적이라는 점이다. 이렇게 만들어진 중간재는 또다시 소성가공, 열처리, 절삭, 도장등을 거쳐 최종소비자에게 전해진다.

이 과정에 관련된 기술분야중 중요한 분야만을 열거하면(그림 5, 아래 참조);주대상인 철등의 금속의 특성 및 성질을 연구하는 금속 재료공학, 금속을 원하는 형태로 가공하기 위해 필요한 소성가공분야(그림 5, 위쪽 참조), 그리고 가공을 위한 plant의 설계 및 운용을 위한 기계공학, plant를 제어하기위한 계측 및 제어공학, 다양한 제품(강종, 형태, 성질)의 최적화된 공정관리(process시간, 순서, 인적 물적자원의 최대의 활용도-가동률-)를 위한 생산공학, 또 이를 위한 전산관리운용, 정보교류 및 관리를 위한 그리고 빠른(소재속도가 1000m/min일때 대강 200Mbps) 이미지 신호처리를 위한 병렬처리 등의 copmputer공학과 통신공학, 그리고 지식 정보형태의 자원활용을 위한 information과 knowledge engineering분야등 이다.

이러한 부분공정들의 자동화를 위해 대부분 수식모델을 기본으로하는 system을 사용하나, 근원적으로 내재하는 부정확성, 즉 공정의 복잡성과 수식모델의 한계 등,의 존재때문에 자동화가 간단하지않거나 자동화율이 떨어질수밖에 없다. 소성가공의 예를 들면, 열간압연시 압하력(rolling force)의 계산식은 많이 제안되었지만, 재질자체의 특성 파악의 어려움, 내부온도의 측정 및 예측의 어려움, 미찰계수 문제등의 이유로 수식모델화하는것은 한계가 있을수밖에 없다(그림 5, 위쪽 참조). 이러한 이유 하나만으로도 금속소재를 정밀한형태로(μm 단위) 가공하는것이 어렵고, 이는 원하는 두께로 소재를 압연하기위해 과연 어느정도의 압하력을 주어야하는지를 예측제어하기 어렵다는것이고, 결국 제어지연이 일어날수밖에 없다.

이러한 수식모델의 부정확성을 보완하기위해 대

소성가공의 특징과 그의 불확실성

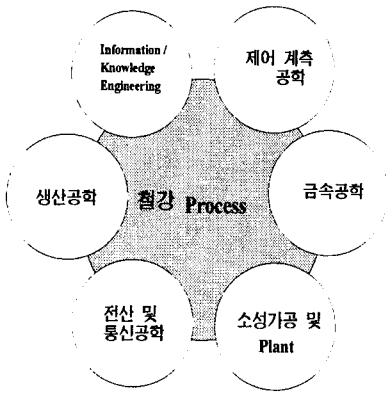
소성가공의 목적은 주어진 재료(금속)를 최소한이 에너지와 원자재를 투입하여 원하는 형상으로 가장빠른 시간내에 만드는 데 있다. 즉 어떤온도에서 어떤 방향, 어느 크기의 힘을 소재에 주었을 때 어떻게 언제 그리고 어느방향으로 소재가 변화할것인가를 예측하는데 그 목적이 있다. 이 parameter들의 관계를 연구하는 것을 소성가공학이라한다.

□소성가공의 특징

- 비선형성
- 복잡성
- 측정의 어려움 (내부온도, 마찰계수)
- 대부분 time-variant process
- 대부분 non-stationary

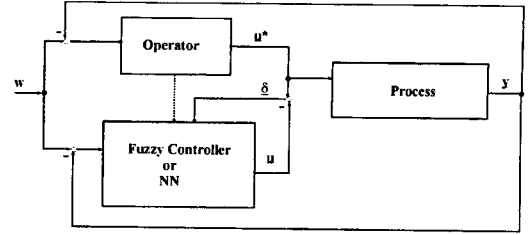
□그의 불확실성

- 물질의 내부구조
 - 마찰계수의 부정확성
 - 온도 및 변화의 부정확성과 예측의 어려움
- process model에 불확실성 내포



(그림 5)

부분의 process운용에 운전자가 필요하고 또한 운전자의 수동조작이 자동화에 개입될수 밖에 없다. 이의 한 해결책으로 제안할수있는 것은, 복잡도의 감소(reduction of complexcity)와 부정확/불확실성의 모델링(uncertainty management)등을 사용하는 것으로서, 이를 통해 자동화율 증가를 가능케 할수있다. 복잡도의 감소를 위해 수식모델과 함께 언어모델을 사용 해서(위 참조) operator의 경험과 지식을 정형화 할수있다. 불확실성의 종류에는



(그림 6)

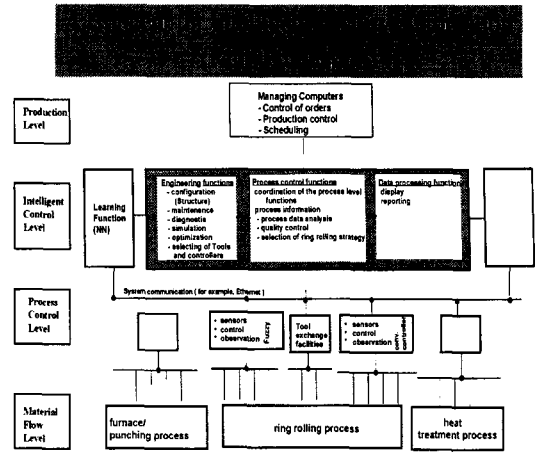
우연발생의 현상에서오는 불확실성;확율이론이 어느정도 이 문제를 이론화했지만은 “싼 가격의 형성”등의 모델링은 불가능하다, 자연어의 모호함에서 발생하는 이해나 전달상의 불확실성;“큰 힘”등, 정보의 불완전등에서오는 불확실성 그리고 관찰이나 계측의 불확실성으로 나누는데^[3], fuzzy이론은 이러한 system내에 존재하는 부정확/불확실성을 모델화하여 처리가능케하도록 하는 한 방법이다. 또하나의 방법은 운전자의 경험이나 지식의 추출방법으로 NN을 써서 운전자의 운전방법을 학습시켜 자동화율을 높이는 방법도 가능하다(그림 6). 이러한 기법을 이용하여 용광로(고로)의 조업자운전의 지식을 추출해 타조업자를 위한 그리고 조업의 안정을 위한 decision support system을 개발할수있다.

이와같이 복잡하고 고도의 기술을 필요로 하는 철강 Process 의 자동화는 수식모델을 기본으로 하면서 지식의 활용 및 부정확한 부분의 축소를 위해 위의 신기법을 이용해야 할것이고, 이는 결국 수식모델의 미지의 parameter α 를 찾아내는 방법이 될것이다. 또한 앞으로의 자동화 system은 계측제어기능외에 학습 기능(self-learning), 자기최적화기능(self-optimization), fuzzy추론기능, 자기진단기능(self-diagnosis), 학습기능 그리고 engineering기능(simulation등)이 갖춰진 지능제어 system이 되어야할것이다. 한 예로서 Ring생산공정의 지능제어system을 그림 7에 나타내었다.

간단한 자기최적화기능(self-optimization), 자기진단기능(self-diagnosis)의 예는 ^[4]에 소개되었다;예를들면 압연공정에서 두께, 압하력, 토크, 압연속도등이 process최적화의 목적치들인데, 동시에 이들 변수의 모든 조건을 만족하는 해를 구하

는것은 대단히 어렵기때문에 일반적으로 어떤 crisp value로서 목적치범위를(예 : 온도 > 900도) 준다. 이때 다른 목적치들의 조건을 만족하고, 단지 900도이하인 899도인 해는 구했다고하면, 이는 엔지니어의 입장에서 수용가능한 해일것이다. 그러나 알고리즘적으로는 위의 조건(900도이상)에 맞지않기 때문에 해로서 수용되지못한다. 이렇게 엔지니어의 지식을 해(solution)의 수용성여부를 판단하기위해, crisp value의 목적치limit대신에 fuzzy집합으로 정의하여 고전적 최적화알고리즘에 이입 할수있을것이다. 이로서 수학적인 최적화알고리즘과 함께 사용자인 엔지니어의 지식이 같이 사용될수 있다.

또한 fuzzy제어에 대한예는 [5]와[6]에 소개되었다. [5]에서는 소성가공용 유압단조기를 위한 제어기 설계시, 비선형적인 system 특성과 예측이 어려운 기계적, 재료적 특성 때문에 이제까지 간단한 parameter 추정방법의 제어기를 사용하였는데, 설계시의 불확실성의 modelling의 한 방법으로서의, 퍼지 제어기를 소개하였다. [6]에서는 발전설비나 자동차 그리고 항공우주분야에 사용되는 각종 bearing, 원형부품들에 사용되는 ring을 생산하는 방법인 ring rolling(ring 압연)을 위한 퍼지적용제어기를 소개하였다. 이제까지의 수학적모델을 사용한 제어시스템은 ring의 단면적이 사각형인 제품에는 최소한의 오차로 생산 가능하였으나, plant의 생산성과 제품의 다양성을 위하여 ring의 단면적이 복잡한 것을 생산시에는 문제점이 노출되었다. 왜냐하면 기존의 수학적모델이 roll gap 또는 metal forming zone에 근거하여 modelling하였기 때문이다. 이러한 이유로 이러한 문제점을 고전적인 수학적모델을 기초로한 adaptive control system의 방법대신에, 축적된 control system설계와 운용 경험을 이용하여 설계한 퍼지제어기및 그것의 실적용 그리고 그 결과를 소개하였다. 그결과 제어기의 제어정도 판단기준인 단면적의 형상이(filling grade) 99.5%의 형상도를 보임으로서, 상대적으로 복잡한 레이스(race)용 ring을 industry에서 요구하는 제품기준으로 생산 할수있었다.



(그림 7)

V. 결 론

본 논문에서는 knowledge engineering의 필요성, 의미 그리고 실현방법중 fuzzy technology와 NN 기법을 수식없이 설명하고, 간단히 그 방법들이 철강관련 process의 자동화에 이용될수있는가에 대해 고찰하였다.

process중 parameter수가 많아 복잡성을 띄거나, system특성이 과도한 비선형적특성을 갖고있어 선형화가 어려울때 그리고 수식모델을 얻기 어렵거나또는 얻는다하더라도 system식의 해를 구하기 어렵울때 또는 process지식을 자동화system에 이용하고자할때 knowledge engineering의 방법들이 기존 system의 보완적 방법으로 사용될수있을것이다.

참 고 문 헌

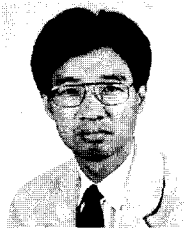
- [1] D. Abel; Entwurf und Realiasierung digitaler Steuerung und Regelungen, Umdruck zur Vorlesung Rechnerunterstuetzte

Automatisierungstechnik, IRT, 1993.

- [2] H.-J. Zimmermann; Vortrag "Wissensstruktur und Unsicherheit" in Wissenbasierte Systeme und Fuzzy Control, Ingenieur-wissenschaftliches Forum Aachen, RWTH Aachen, 9.1991.
- [3] H.-J. Zimmermann; Arbeitsunterlagen zur Vorlesung "Fuzzy Control und Fuzzy Datenanalyse", Lehrstuhl fuer Unternehmensforschung, RWTH Aachen, WS 94/95.

- [4] 이용현 : "Intelligent Control with Fuzzy Technologies in the Area of Metal Forming", 전자공학 학회지, 제 22권 제11호, 1995, P.1301 -1314
- [5] 이용현 : "유압단조기의 하이브리드 퍼지제어기", 제 5회 인공지능, 신경망 및 퍼지시스템 종합학술대회, p 3-6, 1996
- [6] 이용현 : "Ring생산 control system의 퍼지 적응제어", '96 한국자동제어학술회의, p 1476-1479, 1996

저 자 소 개



李 鎔 賢

1956年 2月 10日生
 1981年 2月 성균관 대학교 전자공학과(학사)
 1986年 9月 독일 아헨공대(Aachen) 전기전자공학(Vordiplom: 학사)
 1991年 7月 독일 아헨공대 compute공학(Diplom: 석사 및 박사과정)
 1995年 11月 독일 아헨공대 박사(Dr. -Ing)

1981年 2月~1983年 3月 삼성전자 연구원
 1988年 7月~1991年 6月 독일 아헨공대 조교
 1991年 7月~1995年 11月 독일 기계성형연구소 연구원(IBF) 및 assistant professor
 1996年 2月~현재 포항제철 기술본부 기술연구소 계측제어 연구팀

주관심 분야 : 1. Real time control system 3. parallel processing
 2. Fuzzy 제어/Expert system 4. NN(인공신경망)