

전문가 시스템 기술의 제어 응용 사례 조사

鄭明振*, 李政勳*, 尹明重*, 安太英**

* 韓國科學技術院 電氣 및 電子工學科

** 國防科學 研究所

I. 서론

근래의 산업계의 시스템은 갈수록 거대/복잡해져 제어 시스템에 대해 좀더 지능적인 욕구, 즉 제어 성능의 향상, 적용의 확대, 나아가 인간의 편의성 도모 등이 요구된다. 기존의 고전적/현대적인 제어 이론은 이와 같은 요구를 충족시키에는 이론 자체의 제약으로 한계성이 존재한다. 왜냐하면, 실제 시스템은 불확실성, 비선형성, 그리고 복잡성을 가지고 있어 효과적인 제어를 위해서 인간 전문가의 개입이 피할 수 없게된다. 따라서, 이러한 시스템의 제어를 위해 최근 전문가 시스템 기술(Expert System Technology)의 도입 연구가 많이 진행 되고 있다.

전문가 시스템은 인공 지능(AI)의 구현 방법으로써, 아직 완벽한 상태는 아니지만 마이크로프로세스의 발달에 힘입어 특정 영역에서는 인간 전문가와 비견할 혹은 더 나은 결과를 내어 인간에게 도움을 줄 수 있음이 보고되고있다. 전반적인 전문가 시스템의 국내외 연구 동향은 참고문헌 [77] - [79] 를 참조바라며, 제어 분야에서 전문가 기술 응용 동향에 관하여 분류한 뒤 고찰하고자 한다. 편의상 전문가 시스템 기술을 이용한 제어 시스템을 전문 제어 시스템(Expert Control System)이라 칭하며, 일반적인 의사 지원(Decision Support) 혹은 의학 진단형(Medical Diagnostic) 전문가 시스템과의 차이점은 동작면에서 사람이 느끼는 실시간(Real Time)뿐 아니라 제어하고자하는 대상 플랜트에 대하여 상대적으로 모든 동작이 실시간으로 이루어져야하며, 구성면에서는 제어 특성상 제어 입력값 또는 시스템 상태에 대한 수치 정보가 다루어져야 되기때문에 수치적인

알고리즘이 전문가 시스템에 추가되는 점이다. 결국, 전문 제어 시스템은 전문가 시스템의 제어 응용 관점에서 보면 제어를 위하여 경험적 규칙(Rule)과 지식(Knowledge)이 체계적으로 담긴 기존 전문가 시스템에서의 지식 기반시스템(지식 기반과 추론 엔진: Knowledge Base System), 그리고 사용자 인터페이스(User Interface)와 더불어 수치적 알고리즘(Numerical Algorithm)이 첨가된 형태를 갖게 된다. 반면 제어 시스템 관점에서 보면, 수치적 제어 알고리즘에 필요한 전문적/일반적인 지식 베이스가 추가되고, 사용자의 편의를 생각한 사용자 인터페이스가 첨가된 형태이다. 또한 전문가 시스템 기술의 지식을 다루는 지식 공학 기법, 즉 지식 표현법, 추론 방법, 프로그래밍 기법 등이 전반적인 제어 문제들에 신뢰성(Reliability) 및 성능(Performance) 향상(Improvement)과 더불어 자동화(Automation) 및 지능화를 위하여 유용하게 이용할 수 있다.

II. 전문 제어 시스템의 분류

전문 제어 시스템을 체계적으로 소개 하기위해 분야별로 분류하는 것이 필요하며 분류의 기준은 지식 기반 시스템의 구조, 지식 기반을 얻는 방법, 지식의 원천, 제어 법칙 및 응용 분야, 구축하기 위해 쓰인 소프트웨어와 하드웨어, 혹은 불확실성을 다루는 방법등에 따라서 할 수도 있다. 그러나, 제어 법칙 및 응용 분야에 따른 분류 이외의 방법은 지식 기반에 중점을 두고 있고 그 분류가 너무 복잡해지거나 제어 공학자에게는 큰 의미가 없을 수 있는 반면, 응용 분

아에 따른 분류는 제어 공학자들에게 친숙하며 실시간의 개념이 그 응용 분야에 따라서 달라지므로 실시간에 중점을 두는 전문 제어 시스템을 응용 분야에 따라 분류하여 살펴보는 것이 합리적이다. 그러므로, 우리는 다음 장들에서 국내외의 기술 현황을 체계적으로 살펴보고 분석하기 위해 수집한 국외 연구 결과들을 사용되는 제어 법칙과 응용 분야에 따라, ①견실한 자기 동조 제어, ②시스템 Identification(ID)과 적응, ③지식 기반 제어(Knowledge-Based Control), ④성능 감시(Performance Monitoring) 및 플랜트 진단(Diagnosis), ⑤고전적인 제어기 설계, ⑥전문 제어 시스템의 사례 분석, ⑦제어 및 신호처리 알고리즘과, ⑧기타 관련 논문 등으로 크게 분류하였다. 국내 논문도 역시 용도별로 ①프로세스 제어, ②지식 기반 제어, ③성능 감시, ④제어기 설계와 기타로 분류하였다. 그러나 보는 시각에 따라 다른 형태의 분류도 또한 충분히 존재할 수 있다.

표 1. 국외 연구

순번	부 류	편 수	참고 문헌
①	견실한 자기 동조 제어를 위한 전문 제어	9	[1] - [9]
②	시스템 ID와 적응을 위한 전문 제어	8	[10] - [17]
③	지식 기반 제어를 위한 전문 제어	13	[18] - [30]
④	성능 감시와 진단을 위한 전문 제어	10	[31] - [40]
⑤	제어기 설계를 위한 전문 제어	4	[41] - [44]
⑥	전문 제어 시스템에 대한 분석	6	[45] - [50]
⑦	제어 및 신호처리 알고리즘	10	[51] - [60]
⑧	기타 관련 논문(지식 공학 등)	6	[61] - [66]

표 2. 국내 연구

순번	부 류	편 수	참고 문헌
①	프로세스 제어를 위한 전문 제어	4	[67] - [70]
②	지식 기반 제어	1	[71]
③	성능 감시와 진단을 위한 전문 제어	2	[72] - [73]
④	제어기 설계 지원	2	[74] - [75]
⑤	기타 관련 논문(지식 공학 등)	4	[76] - [79]

III. 국외 현황

전문 제어 시스템 및 전문가 시스템에 대한 연구는 국외에서, 특히 미국의 대학과 연구소 및 기업에서

지식 표현과 추론 알고리즘과 의사 지원 파프로세스 제어 등 응용 측면으로 활발히 이루어지고 있고, 유럽에서는 전력 계통 진단과 관련하여 유럽공동체(EC) 차원에서 연구 진행이 되고있고, 일본에서는 의학 진단용으로 5세대 컴퓨터 연구를 마무리짓고 6세대 컴퓨터 연구와 응용(Application) 연구가 진행 중이다. 많은 연구 분야에서 시스템과 시스템 개발을 위한 도구(Tool or Shell)가 처음에는 대형 컴퓨터를 대상으로 개발되다가 현재는 보편화된 개인용 컴퓨터를 대상으로 개발되고 있고 시판 중에 있는 것도 많이 있다. 제어 영역에서는 이산 사건 시스템(Discrete Event System)과 동역학이 느린 프로세스(Process) 제어에 대한 응용이 보고되고 많이 있다.

표 3. 국외의 상용화된 전문 제어 시스템 예

제어기	형태	제작자	제작년도	구현 기법	Processor
SDM-20	DCS	NAF Controls	1984	AT,GS	8086,8087
ECA40	SLC	Satt Control	1986	AT,GS	8031
ECA04	SLC	Satt Control	1988	AT	80535
Alert50	DCS	Alfa Laval	1988	AT,GS	8088,8087
SattCon31	PLC	Satt Control	1988	AT,GS	6809
DPR900	SLC	Fisher Controls	1988	AT,GS	8031
ECA400	2LC	Satt Control	1989	AT,GS,AFV,AFF	80C188
Sattline	DCS	Satt Control	1989	AT,GS	

DCS=분산 제어 시스템, PLC = Programmable Logic Controller, SLC = Single Loop Controller, 2LC = 2 Loop Controller, AT = Autotuning, GS = Gain Schedule, AFB = 적응 피드백제어, AFF = 적응 Feedforward

특히, 이득 조정(Gain Schedule)과 자기 동조(Auto-tuning)와 같은 간단한 제어 알고리즘과 이를 위한 경험적인 규칙이 첨가된 전문 제어 시스템이 표 3에 보이는 바와 같이 상용화되고 있다. 그러나, 빠른 동역학을 대상으로 연구한 전문 제어 시스템은 아직 연구가 미흡한 상태지만, 현재 미국, 일본, 한국에서 퍼지 칩(Fuzzy Chip)이 개발되는 등 프로세스의 고속 계산이 가능함에 따라 동역학이 빠른 플랜트에 대해서도 연구가 시도되고 있는 추세이다. 현재의 대부분은 전반적인 제어의 작업을 수행하는 것이 아니라 제어를 지원하는 부분적인 관점에서 연구되고 있다. 주로 고전적인 제어기 설계나 제어 규칙에 제

어 전문가의 지식을 이용하거나 제어 성능을 감시하고 진단하는 등을 위한 연구가 진행되고 있는 실정이다 다음에서는 전문 제어 시스템을 쓰이는 제어 법칙 및 응용 분야에 따라, 강인한 자기 동조 제어, 시스템 Identification 과 적응, 성능 감시 및 진단, 지식 기반 제어 등으로 항목에 따라 나누어 연구사례 중 대표적인 것들을 표로 정리하고 살펴보겠다.

가. 견실한 자기동조 제어를 위한 전문제어 시스템 이 형태의 전문 제어 시스템에서 수치적인 알고리즘의 제어기로, 간단하지만 실제 시스템에서 가장 많이 사용되는 기존의 PI, PD, PID, 혹은, Phase-Lead와 Phase-Lag 보상기들을 채택하고 있으며, 제어 전문가의 지식과 경험적 지식을 이용하여 플랜트 환경에 타당한 제어기를 선정하고, 선정된 제어기의 이득을 먼저 Relay 실험을 통하여 주파수 영역의 설계법, 예를 들면 Zeigler-Nichols 방법 등에 의해 결정하고 제어시 시스템의 상황에서 따라자기동조 시킨다. 특히, [1] 에서 성능 판단을 위해 출력 패턴 인식 방법이 사용 되었다. 이러한 종류의 시스템은 사용자 인터페이스가 없는 초보 단계의 시스템이라 볼 수 있다. 대표적인 것들에 대한 특기사항을 표 4에 요약 정리하였다.

나. Identification과 적응을 위한 전문 제어 시스템 미지 시스템(Unknown System)을 제어하기 위한 첫 작업은 당연히 Identification(ID)과 Modelling이다. 시스템 ID는 먼저, 테스트 동작에 의하여 프랜트에 관한 자료를 얻고 관측된 자료를 가지고

프로세스의 동특성을 나타내기위한 적절한 모델을 찾는 문제이다.

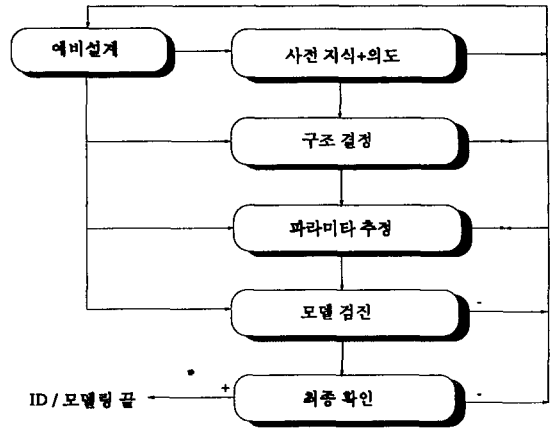


그림 1. Identification 과정의 예

여기에는 많은 경험적이고 전문적인 요소가 필요하기 때문에 전문가 기술 도입의 필요성이 있다. 그림 1은 전형적인 ID 과정을 나타내며 모델링에 관한 지식을 지식기반에 저장하여 두고, 미지의 시스템을 모델링 하면서 이용하고, 그 모델에 대한 타당성을 검증한다. 이 과정에는 수치적인 부분과 기호적인 면이 동시에 존재한다. [10] 는 복합 거대 시스템인 질량 분석기(Mass Spectrometer)에 대한 ID 문제를 다루었으며, [16] 은 SISO와 MIMO 선형 동특성과

표 4. 견실한 자기 동조 제어를 위한 전문 제어 시스템

저자	비고
Kraus and T. J. Myron [1]	<ul style="list-style-type: none"> · 상용화된 PID Autotuner(FOXBORO EXACT). · 패턴 인식 기법에 의해 오차신호의 모양을 감시, 사양 만족하는 제어기 이득을 설정. · 주파수 영역 Zeigler-Nichols 방법에 의해서 이득을 설정.
Astrom, Anton, and Arzen [3]	<ul style="list-style-type: none"> · Relay 되먹임 방법을 써서 Ultimate 주기와 Ultimate 이득을 구해서 수정된 주파수 영역 Zeigler-Nichols 방법에 의해서 PID 이득을 설정. · PID Autotuning 제어기가 VAX환경하에서 구현.
Lebow, Blankenship University of Maryland [7]	<ul style="list-style-type: none"> · 산업용 적응 PID 제어기. · Microprocessor-based System. · TI의 Logic 제어기를 사용.
Krijgsman, Broeders, Verbruggen, and Bruijn Delft University of Technology [6]	<ul style="list-style-type: none"> · PID Autotuning을 하는 Expert System. · 거대한 건물의 온도를 제어하는 모의실험을 수행. · FORTH로 구현, PDP-11/60에서 실행. · 여러 가지 Project를 하기 위해서 아래를 사용. <ul style="list-style-type: none"> · ENVISAGE : μ-VAX-II에서 실행, Adaptive Control Algorithm을 관리. · MUSIC : μ-VAX-II에서 실행, 실시간 모의실험과 제어 Program.
Astrom, Hang, Persson and Ho [9]	<ul style="list-style-type: none"> · 수정된 주파수 영역 Zeigler-Nichols 방법과 단위 계단과 실험을 통해서 만들어진 Normalized된 변수를 도입. · 실험적으로, 현재의 플랜트에 적합한 제어기를 선정하고 적합한 제어기 구조를 제안.

표 5. Identification과 적응을 위한 전문 제어 시스템

저자	비 고
Glass and Wong Systems Autonomy Demonstration Office at NASA [10]	<ul style="list-style-type: none"> Model Identification과 적응 제어. Rule-Based, Object-Oriented and Data-Driven 기술을 사용.
James and Rapisarda [12]	<ul style="list-style-type: none"> IBM-PC/AT 호환기종에 구현. TURBO PASCAL로 Inference Engine을 구현. 재구성할 수있는 제어기는 TI의 TMS 32010 Digital Signal Processor로 구현.
Taylor General Electric Corporation [13]	<ul style="list-style-type: none"> DELPHI : GE-21 Turbine Engine의 모의실험을 수행. VAX-LISP : Forward and Backward-chaining Inference Engine을 구현. FORTTRAN : 분석과 설계를 맡음.
Bonissone General Electric Corporation [14]	<ul style="list-style-type: none"> DARPA와 함께 Pilot's Associate를 구현.

SISO 비선형 동특성을 대상으로 한 ID 시스템을 개발한 연구이다. 그리고 [13] 은 비선형 시스템에 대한 연구이다. 이 분야의 대표적인 사례에 대한 내용을 표 5에 요약 정리하였다.

다. 지식 기반 제어를 위한 전문 제어 시스템

지식 기반(Knowledge-Based) 제어에 대한 일반적인 정의는 아직 확실치 않으나, 다만 지식(Knowledge)을 사용하여 시스템의 성능(Performance), 신뢰성(Reliability)와 견실성(Robustness)을 증가시키기 위하여 컴퓨터 메커니즘(Mechanism)을 채택한 제어 시스템의 종류라고 받아 들여 지고 있다. [46] 여기에는 고전적인 수학적 모델의 사용을 포함 시키지 않고 있다. 하지만 제어 문제 해결에서는 고전적인 수학적 모델 또한 도움이되므로 전문 제어 시스템 내에 플랜트를 나타내기 위해 필요하다. 만약 지식을 규칙으로 표현할 경우, 규칙 기반 시스템이 되므로 규칙 기반 시스템은 지식 기반 시스템의 한 예로 볼 수 있다. 제어시 필요한 지식 또는 규칙을 전문가 시스템 기술의 지식 표현법을 이용 지식 기반에 집적하여 이용하면 성능을 향상시킬 수 있다.

그림 2는 지식 기반 제어의 한 예이다. 이 분야에 퍼지 논리(Fuzzy Logic)를 이용한 것을 포함 시켰으며 그 예가 [18], [20] 과 [28] 이다. 그리고 이동형 로봇 제어에서 Autonomous Navigation을 위한 지식 기반 제어 시스템이 보고됐고 [21], [22], 특히 [22] 에서 환경 인식 문제에서 여러 가지 불확실한 정보 처리를 위하여 Blackboard 개념

을 도입하고 있는데, 실시간 문제 등과 관련하여 지식 베이스를 Blackboard 구조로의 구현이 많이 이용하고 있다.

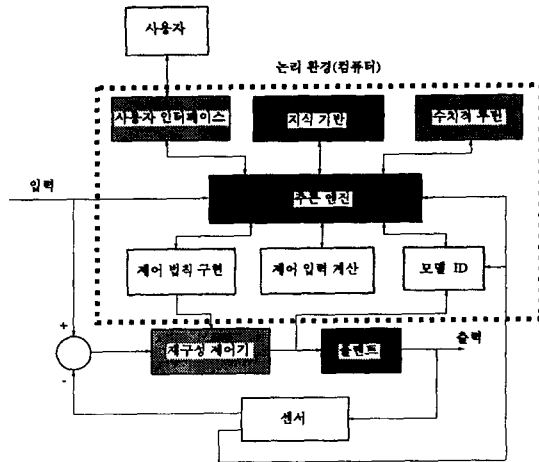


그림 2. 지식 기반 제어의 구조의 예

더욱 [27] 에서는 전문 제어 시스템의 기능을 상향 인식과 추론으로 역할 분산시킨 후, 양면에서 접근이 가능한 기억소자(Dual Port Memory)로 연결하여 실시간 구현을 하고 있다. 그리고 신경망 기술을 이용 추론을 행하고 있어 전문 제어 시스템 내에 신경망 이론을 도입이 시도되고 있다. 이 분야의 대표적인 연구 사례를 표 6에 정리하였다.

표 6. 지식 기반 제어를 위한 전문 제어 시스템

저 자	비 고
Mamdani [20]	· Fuzzy Logic 제어를 구현.
Tagagi and Sugeno [18]	· Fuzzy Identification을 위한 접근 방법을 설립. · Water Cleaning Process와 Steel-making Process에 적용.
Burks, de Saussure, Weisbin, Jones, and Hamel [21]	· HERNES-IIB Mobile Robot를 이용하여 Unexpected Occurrence와 목표 인식을 다루고 Planning과 Perception을 하는 연구를 수행. · 두개의 NCUBE 32-bit Machine: IBM 7532와 On-board Computation을 제공하고 Off-board Computation을 위해서 8 Mbaud의 병렬 연결을 하는 VME System.
McTamancy [22]	· DARPA가 후원하는 Autonomous Land Vehicle 계획. · FMC System을 사용하여 Mission Planning과 Route Planning, Obstacle Detection and Avoidance, Road Following 등의 작업을 수행. · Tele-operated Mode로 동작. · Mission Planning Subsystem : LISP-like Plan Genetation Language로 쓰여졌음. · Blackboard Architecture : 여러 Module을 서로 연결.
Russell, Lane, Lane [23]	· BOFFIN Program. · 줄로 연결된 Autonomous Robot로 Driver Support같은 단순한 작업을 수행. · Blackboard Symbolic Computation Architecture, C-Language로 구성, 전체는 UNIX OS.
Huang and Stengel Handelman and Stengel [24]	· US Army Research Office의 후원. · Blackboard Architecture를 이용한 여러개의 Microprocessor를 사용. · Mobile Robot에 대해서 실시간 성능 실험.
Eldeib [44]	· Servomechanism을 위해서 Rule-based 제어기.

라. 성능 감시와 진단을 위한 전문가 시스템
 제어 영역에서 성능 감시와 진단은 오래전부터 전력 계통 등에서 연구되어 왔으며 전문가 시스템과 용이하게 접목이되고 있는 분야이다. 성능 감시(Monitoring)는 고장 감지(Failure Detection)이며 진단(Diagnosis)은 원인 규명(Cause Identification)이다. 지식 기반의 구축을 위하여 플랜트 실제 운용의 경험자(Operator)로부터 지식을 추출하여야 한다. 그림 3은 해석적인 부분과 경험적인 부분을 사용한 진단 시스템의 구조에 대한 한 예이다. [32]은 수력 발전소의 성능 감시와 진단 문제를 다루었으며, [34]는 프로세스에 대하여, [35]과 [38]은 진단의 실시간 구현에 대한 연구이다. 또 진단을 플랜트의 모델에 근거(Model-Based)하여 감지하고, 진단한 예는 [36]와 [39]가 있다. 대표적인 사례들의 특기사항을 표 7에 요약하였다.

마. 제어기 설계를 위한 전문가 시스템
 고전적인 제어기 설계에도 전문가 기술이 이용되고 있다. 사용자가 제시한 성능 요건을 만족하는 제어기의 이득 집단을 추출하여 제안하며 그 이득에 대한 성능 해석을 행할 수도 있다.

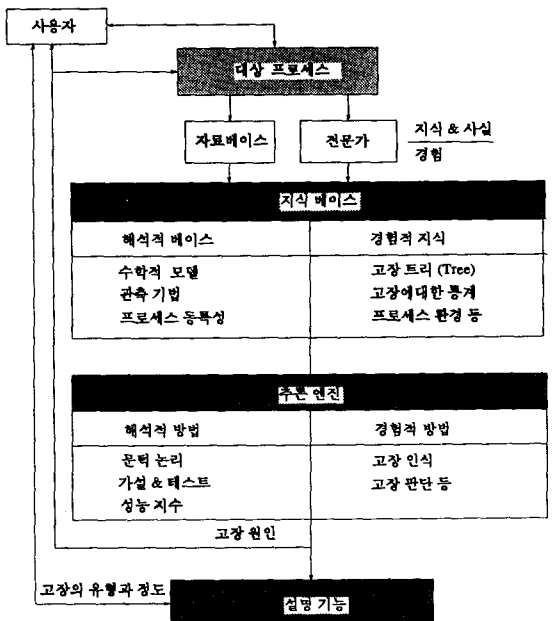


그림 3. 모델/지식 기반 진단 시스템의 구조

표 7. 시스템 성능 감시와 진단을 위한 전문가 시스템

저 자	비 고
Doraiswami and Jiang [32]	<ul style="list-style-type: none"> Hydraulic Turbine Generator 아날로그 시뮬레이터에 대하여 시스템 센서 고장, 구동기 고장, 제어기 고장, 부하 변동에 대한 실시간 모의실험 수행. 지식 기반, 실시간 추론 엔진 : Prolog로 구성. 실시간 정보 전 처리기: Digital Signal Processing 기법을 사용. PC-AT상에 전문제어 시스템을 구현.
Chen, Hsieh and Chao [38]	<ul style="list-style-type: none"> China Steel Copr.의 제철 반응기의 효율적인 조작과 관리위한 실시간 제어. 숙련된 현장 기술자의 실제적인 경험을 가지고 심층적인 이론적 지식을 집적. 애매 논리 추론을 적용하였고, 정보와 추론을 위한 부시스템으로 구성.
Tzafestas, Christou and Yip [35]	<ul style="list-style-type: none"> FAULT. ENT : Default Theory에 기반을 둔, Digital 회로들의 고장을 진단하는 시스템. PC-AT 286 상에 구현된 알고리즘을 소개. 시스템 효율 향상을 위한 방법 소개.
Frank [31]	<ul style="list-style-type: none"> Model에 기반을 둔 고장 검출 및 분리에 관한 조사연구. 변수 Identification과 상태 추정을 쓴 모델에 기반한 Residual 생성 기법과 원리. 강인한 계측기, 구성요소, 구동기 고장 감지를 위한 관측기 방법을 설명. 분석적이고 지식에 기반을 둔 여유도의 조합으로 고장을 진단하는 기초적 방법 소개.
Iserman, Reib, and Wanke [34]	<ul style="list-style-type: none"> 적은 수의 강인한 센서와 동적 프로세스 모델과 변수 추정을 사용한 고장진단법. 지식 기반은 분석적 지식과 경험적 지식으로 구. Fault Tree와 Plausibility 척도를 써서 고장을 추론. 다양한 적용대상에 실험결과 소개.

[39] 와 [43] 은 Lead-Lag 보상기 설계에서 원하는 성능 요건인 Phase와 Gain Margin을 충족하기 위한 전문가 프로그래밍 기법을 사용하였다. [42] 은 선형 다중 입력력 시스템을 위한 되먹임 제어기 설계 문제를 다루었다. 이 분야에서는 설계와 시뮬레이션과 그리고 해석 기능을 갖춘 도구들이 시판되고 있다. 따라서 이와같은 도구를 이용하면, 제어의 이론적 전문가가 아니더라도 고급 제어기(Advanced Controller)를 설계할 수 있다.

바. 전문 제어 시스템에 대한 사례 분석

전문 제어 시스템에 대해 비교 분석한 논문들로서 [43] 은 실시간 제어를 위한 지식 기반 시스템에 대해 조사한 논문으로 지식 기반 시스템 분류 정리하고 구축시 고려 사항을 제시하였으며, 또 [46] 은 이들 시스템의 성능 평가하고 지식 기반 시스템 설계의 체계적인 방법을 제시하고있다. [48] 은 미국 군사 장비에 사용되고 있는 전문가 기술에 대하여 예를 들어 다루었고, 이 중에는 상황에 따른 작전 보조(Support), 물체 인식(Object Identification)과 전자장비의 고장 진단 등이 있다. [49] 은 기존의 상용화 된 PID의 자기 동조 시스템, SattControl, Foxboro, RZN과 일반 PID을 여러 관점에서 비교 분석한 것이다.

사. 전문 제어 시스템 구축을 위한 제어 및 신호처리 알고리즘들

이 분야는 전문 제어 시스템이 Identification과 정이나 동작 중에 필요한 수치적 알고리즘에 관한 것으로 각종 제어 알고리즘 자체, 추정 알고리즘과 신호 처리 알고리즘 등으로 Filtering 하는 기법들이 여기에 속한다. [49], [58]

아. 기타

마지막으로 기타 분야로서 전문가 시스템에 관한 것과 지식 공학에 관련 된 것으로 지식 습득, 즉 필요한 지식을 어떻게 얻는지에 대한 것과 사용자 인터페이스에 관한 것으로 전문 제어 시스템 구축시 도움이 되는 전문가 시스템 기술에 관한 것들 이다.

[59] 는 전문가 시스템 개발시 타당성 검증, 개발 방법, 주의점 등 전반적인 부분과 기존의 전문가 시스템과 도구에 대하여 다루었다. [62] 는 전문가 시스템 개발을 지식을 다루는 관점에서 보고 있으며 지식을 얻는 여러가지 방법에 대하여 정리하였고, 지식의 자동 습득에 대해 [63] 에서, 구조적인 지식에 대해서는 [66] 에서 다루었다.

IV. 국내 현황

국내에서는 엄밀한 의미에서 전문가 지식이 첨가된 실시간 제어 응용을 위한 전문 제어 시스템에 대한

연구는 없고, 간단한 규칙을 애매 논리(Fuzzy Logic)를 사용하여 구현한 퍼지 제어 전문가 시스템과 플랜트의 상태를 감시하여 조작자의 판단을 돕도록 하는 성능 감시(Performance Monitoring)를 위한 전문가 시스템에 대한 연구 사례가 한국 자동제어 학술회의(KACC)와 논문지에 매년 두세편씩 보고되고 있다. 이중 [69]는 화력 발전소 보일러 제어기를 대상으로 퍼지 이론을 도입하여 전문가 지식에 근거한 자기 동조기 설계에 관한 것이며, [70]은 실험용 초임계 추출 장치를 대상으로 퍼지 전문가 제어기 개발한 것이다. 또 시간 지연을 갖는 전기로를 위한 전문가 시스템을 [68]에서 제안하였으며, 그러한 시스템을 대상으로 지식 기반 전문가 제어기 설계 방법을 [71]에서 제안하였다. 제어 시스템 설계 지원을 위한 것이 [74]와 [75]이며, 진단과 관련된 것은 [72]와 [73]이다. 전문 지식을 표현하기 위해서는 퍼지 논리나 규칙이 많이 사용되고 있으며 연구의 양과 성과 면에서 미약하고 해외에 비해 한발 뒤진 감이있다. 그러나 소수지만 계속 연구가 진행되고 있으며, 대표적인 논문에 대한 특기사항을 표 8에 요약하였다.

V. 고찰 및 검토

플랜트를 위한 제어기를 시스템 차원에서 생각해보면, 오직 이론적인 제어 지식만이 필요한 것이 아니

라 여러가지 분야의 전문가들이 있어야 통합된 제어 시스템의 구성이 가능해진다. 왜냐하면, 제어 환경도 점차 다른 분야와 맞물려 복합적인 환경으로 변해가고 있기 때문이다. 최근 전문가 시스템 기술을 제어 환경에 이용하는 것도 이와 맥락을 같이 하고있다. 지금까지 간략하게나마 여러 연구 결과를 국내외적으로 살펴보았다. 현재의 국내외 연구 정도는 기존의 하드웨어 조건으로 실시간 능력을 갖고 대상 시스템의 모델링, 제어기 설계 혹은 이득 결정, 감시, 진단, 고장 복구, 작업 계획과 예측 등을 자동적으로 수행하는 전문 제어 시스템이 드문 실정이다. 전문가 시스템에 대해 긍정적인 시각과 부정적인 시각이 동시에 존재하지만, 만약 전문가 시스템이 성공하면 전문 제어 시스템은 전문가 시스템 기술을 이용할 수 있으므로 전문 제어 시스템 또한 성공할 수 있고, 또 제어 특유의 여러 문제에 전문가 시스템 기술을 부분적으로 유용하게 이용할 수도 있다. 이 과정에서 주안점을 두어야할 사항은 시스템의 안정도, 지식 기반 자료의 효율적인 관리, 규칙의 일관성, 비단조적인 추론, 시스템의 최적 설계와 통합, 신뢰도, 가용성과 유지 및 관리 등이다.^[46] 전문 제어 시스템에 대한 조직적이고 활발한 해외의 연구에 비해 국내 연구가 미진한 상황을 고려할 때 전문 제어 시스템 기반 연구가 매우 절실하며 제어 시스템의 지능화 추세에 비추어 볼때 연구의 필요성은 크다. 현재의 하드웨어로도 수행이 가능한 일부의 성능만이라도 충족시키기 위한 전문 제어 시스템의 구축과 기존에 개발된 응용 예를 더욱 발전시켜 그 기능의 확장과 성능 향상을 시도하여야 할 것이다.

표 8. 국내 전문 제어 시스템 현황

저자	비고
이 대욱, 이 광순 [68]	<ul style="list-style-type: none"> • 실험용으로 제작된 초임계 유체 추출 장치를 대상으로한 퍼지 전문가 제어기의 개발. • On-line적용이 쉽도록 제어 속도 향상을 위하여 간단한 비퍼지화 방법을 제안. • 설정점 근처에서의 미세 조절을 위하여 제어기 매개 변수로서 자동압축을 고안.
권 관준, 황 동환, 변 중남 [67]	<ul style="list-style-type: none"> • 화력 발전소 드럼형 보일러 제어기를 대상으로 자동동조기 설계. • 운전자의 대상 시스템 동조 내용을 퍼지 논리로 구현.
명 노직, 허 옥렬 [66]	<ul style="list-style-type: none"> • 시간 지연을 갖는 전기로 제어를 위한 전문가 시스템을 제안. • Identification방법을 이용하여 규칙을 퍼지로 구현. • 모의 실험을 위해 8751을 사용한 하드웨어 제작과 IBM PC AT상에서 구현.
박 귀태, 김 성호, 박 태홍, 고용렬 [72]	<ul style="list-style-type: none"> • 지연 시간을 갖는 시스템을 대상으로 지식 기반 전문가 제어기 설계 방법 제안. • Smith Predictor 제어기의 성능 향상을 위해 Look-up Table 방식을 이용. • 경험적 지식에 의해 이득 또는 지연 시간의 추정을 위해 Look-up Table을 만들.
김 도성, 이 명호 [69]	<ul style="list-style-type: none"> • 입,출력과 그 패턴 및 제어규칙을 저장하는 지식 기반의 학습제어 방법을 제시. • 제어 입력의 성능평가를 통하여 운전중에 지식기반을 연속적으로 개정. • 퍼지 제어규칙 생성을 위한 퍼지 집합의 순환적인 통계적 결정방법을 제안.

감사의 글

※ 본 연구 조사는 국방 과학 연구소 연구비 지원에 의한 것임.

參考文獻

가. 해외 논문

①견실한 자기 동조 제어를 위한 전문 제어 시스템

- [1] T. W. Kraus and T. J. Myron, "Self-tuning PID controller uses pattern recognition approach," *Control Eng.*, pp. 106-111, June 1984
- [2] K. J. Astrom and T. Hagglund, "Automatic tuning of simple regulators with specifications on phase and amplitude margins," *Automatica*, vol.20, pp. 645-651, 1984
- [3] K. J. Astrom, J. J. Anton and K.-E. Arzen, "Expert control", *Automatica*, vol. 22, no. 3, pp. 277-286, 1986
- [4] B. Porter, A. H. Jones and C. B. Mckeown, "Real-time expert tuner for PI controller," *IEE Proc.*, vol. 134 Part D, pp. 260-263, 1987
- [5] K. L. Anderson, G. L. Blankenship and L. G. Lebow, "A rule-based adaptive PID controller", *In Proc. of the 27th IEEE CDC, Austin, Texas, 1988*
- [6] A. J. Krijgsman, H. M. T. Broeders, H. B. Verbruggen and P. M. Bruijn, "Knowledge-based control", *In Proceedings of the 27th IEEE CDC, Austin, Texas, 1988*
- [7] L. Lebow and G. L. Blankenship, "A microcomputer based expert controller for industrial application," *In Proc. of the 27th IEEE CDC, Austin, Texas, 1988*
- [8] J. Yang, C. F. Chen, C. S. Chen, and Y. Xu, "An approach to automatic tuning of phase-lead and phase-lag compensators", *In Proc. of the 30th IEEE CDC, Brighton, England, 1991*
- [9] K. J. Astrom, C. C. Hang, P. Persson and W. K. Ho, "Towards intelligent PID control", *Automatica*, vol. 28, no. 1, pp. 1-9, 1992
- ②시스템 Identification과 적응을 위한 전문 제어 시스템
- [10] B. J. Glass and C. M. Wong, "A knowledge-based to identification and adaptation in dynamical systems control," *In Proc. of the 27th IEEE CDC, Austin, Texas, 1988*
- [11] K. J. Arzen, "An architecture for expert system based feedback control", vol. 25, no. 6, pp. 813-827, 1989
- [12] J. R. James and L. A. Rapisarda, "An approach to implementing a knowledge-based controller," *In Proc. of the 3rd IEEE Inter. Sympo. on Intelligent Control, Alington, VA, 1988*
- [13] J. H. Taylor, "Rule-based real-time implementation of a nonlinear autotuning control system," *In Proc. of the 27th IEEE CDC, Austin, Texas, 1988*
- [14] P. P. Bonissone, "RUMrunner : A tool for real-time plausible reasoning," *In Proc. of the 27th IEEE CDC, Austin, Texas, 1988*
- [15] J. H. Taylor, "Rule-based real-time implementation of nonlinear self-synthesizing control systems", *In Proc. of the 27th IEEE CDC, Austin, Texas, 1988*
- [16] A. Betta and D. A. Linkens, "Intelligent knowledge-based system for dynamic system identification," *IEE Proc.* vol. 137, Pt. D, no. 1, pp. 1-12, 1990
- [17] S. Genil, A. Y. Barraud, and K. Szafnicki, "SEXI : an expert identification package," *Automatica*, vol. 26, no. 4, pp. 803-809, 1990
- ③지식 기반 제어를 위한 전문 제어 시스템

- [18] T. Takagi and M. Sugeno, "Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control," *IEEE Trans. on SMC*, vol. 15, pp 116-132, 1985
- [19] M. L. Wright, M. W. Green, G. Fiegl and P. F. Cross, "An expert system for real time control," *IEEE Software*, pp. 16-24, March 1986
- [20] E. H. Mamdani, "Application of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant," *In Proc. of the IEEE*, vol. 121, no. 12, pp. 1585-1588.
- [21] B. L. Burks, G. de Saussure, C. R. Weisbin, J. P. Jones, and W. R. Hamel, "Autonomous navigation, Exploration, and Recognition using the HERMES-IIB Robot," *IEEE Expert*, vol. 2, no. 4, pp. 18-26, 1987
- [22] L. S. McTamancy, "Mobile robots," *IEEE Expert*, vol. 2, no. 4, pp. 55-68, 1987
- [23] G. T. Russel and D. M. Lane, "A knowledge-based system framework for environmental perception in a subsea robotics context," *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, vol. 1, no. 3, pp. 401-412, 1986
- [24] D. A. Handelman and R. F. Stengel, "An architecture for real-time rule-based control," *In Proc. of the 1987 ACC*, Minneapolis, MN., 1987
- [25] M. M. Gupta, "Design of cognitive feedback controller," *In Proc. of the 27th CDC*, Austin, Texas, 1988
- [26] G. K. H. Pang, "A blackboard control architecture for real-time control," *Proc. Am. Contr. Conf.*, Atlanta, Georgia, 1988
- [27] G. Qiu and J. D. Birdwell, "Distributed real-time expert control system," *In Proc. of the 28th CDC*, Honolulu, Hawaii, 1990
- [28] S. Tzafestas and N. P. Papanikolopoulos, "Incremental fuzzy expert PID control", *IEEE Trans. Industrial Electronics*, vol. 37, no. 5, 1990
- [29] S. Chand, "On-line, self-monitoring tuner for proportional integral derivative controllers", In Proceedings of the 30th IEEE CDC, Brighton, England, 1991
- [30] R. Leitch, R. Kraft, and R. Luntz, "RESCU : a real-time knowledge based system for process control," *IEE Proc.*, vol. 138, Pt. D, no. 3, pp. 217-227, 1992
- ④시스템 성능 감시와 진단을 위한 전문가 시스템
- [31] C. Y. Huang and R. F. Stengel, "Failure mode determination in a knowledge-based control system," *Proc. Am. Contr. Conf.*, Minneapolis, MN., 1987
- [32] R. Doraiswami and J. Jiang, "Performance monitoring in expert control systems," *Automatica*, vol. 25, no. 6, pp. 799-811, 1989
- [33] P. M. Frank, "Fault diagnosis in dynamic systems using analytical and knowledge-based redundancy - a survey and some new results," *Automatica*, vol. 26, no. 3, pp. 459-474, 1990
- [34] D. Dvorak and B. Kuipers, "Process monitoring and diagnosis," *IEEE Expert*, pp. 67-74, June 1991
- [35] K. Okuda and N. Miyasaka, "Real-time fault diagnosis," *IEEE Expert*, pp. 75-85, June 1991
- [36] R. Iserman, T. Reib, and P. Wanke, "Model based fault diagnosis of machine tools," In Proc. of the 30th CDC, Brighton, England, 1991
- [37] S. Tzafestas, T. Christou, and Y. T. Yip, "Multi-fault diagnosis of digital systems using nonmonotonic reasoning," *In Proc. of the 30th CDC*, Brighton, England, 1991

- [38] R. Milne, E. Bain, and M. Drummond. "Predicting faults with real-time diagnosis," *In Proc. of the 30th CDC*, Brighton, England, 1991
- [39] D.-Y. Bau and P. J. Brezillon. "Model-based diagnosis of power-station control systems," *IEEE Expert*, pp. 36-44, February 1992
- [40] C.-L. Chen, C.-T. Hsieh and Y.-C. Chao. "Expert system for real-time control of an ironmaking reactor," *Int. J. Syst. Sci.*, vol. 23, no. 1, pp. 17-35, 1992
- ⑤ 제어기 설계를 위한 전문가 시스템
- [41] J. R. James, D. K. Frederick, and J. H. Taylor. "Use of expert systems programming techniques for the design of lead-lag compensators," *IEE Proc.*, vol. Pt. D, no. 3, 1987
- [42] C. D. Tebbutt. "An expert systems approach to controller design," *IEE Proc.*, vol. 137, Pt. D, no. 6, pp. 367-373, 1990
- [43] P. A. Muha. "Expert system for SROOT," *IEE Proc.*, vol. 138, no. 4, pp. 381-387, 1991
- [44] J. Litt. "An expert system to perform on-line controller tuning," *IEEE Contr. Syst. Mag.*, pp. 18-23, April 1991
- ⑥ 전문 제어 시스템에 대한 사례 분석
- [45] J. R. James and G. J. Suski. "A survey of some implementations of knowledge based systems for real-time control", In Proceedings of the 27th IEEE CDC, Austin, Texas, 1988
- [46] H. K. Eldeib. "Evaluation of microcomputer-based implementations of knowledge-based control systems", In Proc. of the 27th IEEE CDC, Austin, Texas, 1988
- [47] K. J. Astrom and T. Hagglund. *Automatic Tuning of PID Controllers*, Instrument Society of America, 1988
- [48] J. E. Franklin, C. L. Carmody, K. Keller, T. S. Levitt, and B. L. Buteau. "Expert system technology for the military : selected samples", *Proc. of the IEEE*, vol. 76, no. 10, pp. 1327-1366, 1988
- [49] C. C. Hang and K. K. Sin. "A comparative performance study of PID auto-tuners", *IEEE Control Syst. Mag.*, vol., 1991
- [50] T. Hagglund and K. J. Astrom. "Industrial adaptive controllers based on frequency response techniques," *Automatica*, vol. 27, pp. 599-609, 1991
- ⑦ 전문 제어 시스템 구축을 위한 제어 및 신호처리 알고리즘등의 지식소개
- [51] J. G. Ziegler and N. B. Nichols. "Optimum settings for automatic controllers", *Trans. ASME*, vol 65, pp. 433-444, Nov. 1942
- [52] J. Martin, A. B. Corripio, C. L. Smith. "How to select controller modes and tunign parameters from simple process models," *ISA Trans.*, vol. 15, pp. 314-319, 1976
- [53] R. Isermann. "Parameter adaptive controll algorithms-a tutorial," *Automatica*, vol. 18, no. 5, pp. 513-518, 1982
- [54] K. J. Astromm. "Theory and applications of adaptive control - a survey," *Automatica*, vol. 19, no. 5, pp. 471-481, 1983
- [55] R. Isermann. "Process fault detection based on modeling and estimation methods - a survey," *Automatica*, vol. 20, pp. 387-404, 1984
- [56] R. Doraiswami and J. Jiang. "A linear time-varying filter for estimating a signal from unknown noise and its application to identification," *Int. J. Contr.*, vol. 42, no. 1, pp. 97-117, 1985
- [57] R. Isermann and K. H. Lachmann.

configuration aids and supervision functions." Automatica, vol. 21, pp. 625-638, 1985

[58] J. J. Gertler and H. S. Chang, "An instability indicator for expert control," *IEEE Contr. Syst. Mag.*, pp. 14-17, August 1986

[59] J. J. Gertler, "Survey of model-based failure detection and isolation in complex plants," *IEEE Contr. Syst. Mag.*, pp. 3-11, December 1988

[60] R. Ortega, G. Escobar, and F. Garcia, "To tune or not to tune? : a monitoring procedure to decide," *Automatica*, vol. 28, no. 1, pp. 179-184, 1992

⑧그 밖의 전문 제어 시스템 구축과 관련된 문헌들

[61] D. A. Waterman, *A Guide to Expert Systems*, Reading, MA : Addison Wesley, 1985

[62] G. N. Saridis and K. P. Valavanis, "Analytical design of intelligent machines," *Automatica*, vol. 24, no. 2, pp. 123-133, 1988

[63] D. H. Walburn and E. T. Powner, "Automated acquisition of knowledge for an expert system for process control," *IEE Proc.* vol. 136, Pt. E, no. 6, pp. 548-556, 1989

[64] G. Johannsen and J. L. Alty, "Knowledge engineering for industrial expert systems," *Automatica*, vol. 27, no. 1, pp. 97-114, 1991

[65] J. E. Larsson and P. Persson, "An expert system interface for an identification program," *Automatica*, vol. 27, no. 6, pp. 919-930, 1991

[66] S. Hudson and J. M. Hannah, "Structured knowledge manipulation system for real-time engineering applications," *IEE Proc. Pt. E*, vol. 139, no. 1, pp. 59-63, 1992

나. 국내 연구 사례

①강인한 자기 동조 제어를 위한 전문 제어 시스템

[67] 채창현 외, "Expert형 제어 기법에 의한 STC에 관한 연구," KACC '88, 한국 자동제어 학술회의 논문집, pp.584 ~ 589, 1988.

[68] 명노직, 허욱렬, "전기 제어를 위한 전문가 시스템," KACC '90, 한국 자동제어 학술회의 논문집, pp.113 ~ 116, 1990.

[69] 권만준, 황동환, 변증남, "전문가 지식을 이용한 화력 발전소 드럼형 보일러 PI제어기의 자동 동조에 관한 연구," KACC '91, 한국 자동제어 학술회의 논문집, pp.219 ~ 225, 1991.

[70] 이대욱, 이광순, "Fuzzy 전문가 제어를 이용한 초임계 유체 추출장치 의 운전," KACC '91, 한국 자동제어 학술회의 논문집, pp. 669 ~ 675, 1991.

②지식 기반 제어를 위한 전문 제어 시스템

[71] 김도성, 이영호, "제어응용을 위한 지식베이스의 구축," 전기학회 논문지 제 39 권 제 7 호 pp 720-728, 1990.

③시스템 성능 감시와 진단을 위한 전문가 시스템

[72] 김철진, 윤진섭, "증상 트리 모델을 이용한 이상 진단 전문가 시스템," KACC '88, 한국 자동제어 학술회의 논문집, pp.383 ~ 388, 1988.

[73] 허성광, 정학영, "대규모 Dynamic 계통의 고장 진단 Expert System에 관한 연구," KACC '88, 한국 자동제어 학술회의 논문집, pp.579 ~ 583, 1988.

④제어기 설계를 위한 전문가 시스템

[74] 박귀태 외, "시간 지연을 갖는 계통의 성능 향상을 위한 지식 기반 전문가 제어기 설계," KACC '90, 한국 자동제어 학술회의, pp.117 ~ 121, 1990.

[75] 권옥현, 박재현, 김상우, "제어 시스템 설계를 위한 전문가 시스템," KACC '87, 한국 자동제어 학술회의 논문집, pp.277 ~ 281, 1987.

⑤그 밖의 전문 제어 시스템 구축과 관련된 문헌들

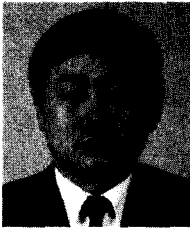
[76] 심철, 김승우, 박민용, "Fuzzy 이론의 응용과 그 전망," 전자공학회지 제 17 권 제 4 호 p 89-94, 1990.

[77] 최종욱, "국내의 전문가 시스템 개발 동향," 전문가 시스템 저널, 창간, 여름호, pp. 11-19, 1991.

[78] 이주현, "전문가 시스템의 활용 동향." 전문가 시스템 저널, 창간, 여름호, pp. 20-25, 1991.

[79] "전문가 시스템 관련 논문 초록집." 전문가 시스템 저널, 창간, 여름호, pp. 45-62, 1991.

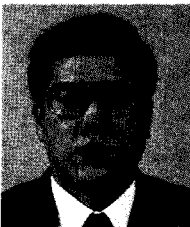
筆者紹介



鄭明振
1950年 1月 31日生.
1973年 2月 서울대학교 공과대학 전기공학과(학사)
1977年 12月 미국 University of Michigan, ECE (석사)
1983年 8月 미국 University of Michigan, CICE (박사)

1976年 국방 과학 연구소 연구원
1981年 1月 ~ 1983年 8月 Center for Robotics and Integrated Manufacturing 연구조교
1983年 10月 ~ 1989年 2月 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 조교수
1989年 3月 ~ 현재 한국 과학 기술원 전기 및 전자공학과 부교수

주관심분야 : 로보틱스, 지능제어, 비선형제어, 센서 레이다 fusion.



尹明重
1946年 11月 26日生
1970年 2月 서울대학교 공과대학 (학사)
1974年 8月 미국 미조리 대학교 전기공학과 (석사)
1978年 5月 미조리 대학교 전기공학과 (박사)

1978年 7月 1983年 1月 미국 General Electric 책임 연구원
1983年 2月 ~ 현재 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 교수

주관심분야 : 전력전자, 제어, 구동시스템

筆 者 紹 介



李 政 勳

1966年 2月 1日生.

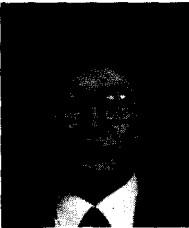
1988年 2月 경북대학교 공과대학 전자공학과(학사)

1990年 2月 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (석사)

현재 한국과학기술원 박사과정

1990年 3月 ~ 현재 한국과학기술원 조교

주관심분야 : 제어, 구동시스템, 전력전자



安 太 英

1949年 4月 29日生

1973年 2月 서울대 기계과

1980年 8月 미국 위스콘신대학교 기계공학과 (석사)

1982年12月 미국 위스콘신대학교 기계공학과 (박사)

1973年 3月 ~ 현재 국방과학 연구소 현재 책임연구원

주관심분야 : System Identification, Machine Tool Cutting Process Dynamics Motor Control