

박 종근

서울대학교 공과대학 전기공학과

Applications of Artificial Intelligence to Power Systems

Jong-Keun Park

Dept. of Electrical Engineering  
Seoul National University

<Abstract>

The application of artificial intelligence technologies to power systems has been an active research topic for about a decade. The purpose of this paper is to provide a brief review of the current status of applications of artificial intelligence (AI) techniques to power systems. In this paper, AI techniques, such as knowledge-based expert systems, artificial neural networks and fuzzy systems are reviewed in the view of the applications to power systems.

1. 서론

1. 인공지능 기술의 발전 추이

인공지능이란 말 그대로 지식저장, 추론, 판단, 예측 등을 수행하는 인간의 사고 영역을 컴퓨터 시스템화 하고자 새롭게 시도되고 있는 기술이다. 소위 인공지능이란 이름이 정식으로 사용되고 연구 분야로 정착되기 시작한 시점은 대략 80년대 초 전문가시스템에 대한 연구가 시작된 때라고 볼 수 있고, 그 이후 신경회로망과 퍼지이론의 도입을 통해 다양한 형태의 인공지능 기법이 연구, 개발되고 있다. 초기의 이론중심의 학자들을 중심으로 한 회의적인 시각도 상당수 있었으나 이론보다는 응용분야에서 많은 성과를 나타냄으로 해서 근래에 들어서는 공학의 대부분의 분야에서 도입되어 연구가 진행되고 있다. 퍼지 이론의 경우 Zadeh 교수에 의해 발표된 초창기에는 수학자들로 부터 많은 이견을 받아 서구 각국에서는 별다른 관심을 끌지 못하다가 일본이 퍼지이론을 가전제품에 적용하여 실용화 시킨 이후, 급속히 전세계적으로 퍼지에 대한 관심이 일어난 것이 그 단적인 예이다. 현재의 기술 추이를 보면 향후에도 계속적인 연구, 개발이 확대될 것으로 예상되며 특히 응용분야에 있어서는 기존의 성과를 바탕으로 인공지능 시스템의 개발이 가속화될 것이 확실시 되고 있다.

2. 인공지능 기술 적용의 전제

진술한 바 대로 인간의 사고를 모의한 인공지능 기법은 인간의 뇌의 장단점을 유사하게 갖고 있는데 수학적인 계산능력에 있어서는 기존의 컴퓨터의 성능을 능가할 수 없지만 기존의 컴퓨터 하드웨어/소프트웨어 구조로는 거의 불가능한 연산, 추론, 판단, 예측 등의 상위 지식영역 처리가 가능하다. 인공지능 기법의 응용이 효율적이기 위해서는 바로 이러한 특성을 파악하여 적절한 분야에의 시도가 이루어져야 할 것이다. 각 기법마다 다른 특성을 갖지만 대략적으로 이를 기술하면 다음과 같다.

- 기존의 수치적, algorithmic한 방법으로는 해결이 불가능한 영역
- 전문가의 지식, 경험이 요구되는 영역
- 계속적인 학습이 요구되는 영역
- 모호성에 대한 처리가 요구되는 영역

3. 전력시스템에 있어서 응용의 필요성

전력시스템은 최근들어 자동화, 기계화의 급진적으로 그 응용의 규모나 복잡성이 매우 커지고 있어서 이를 관리하는데는 제한된 수의 인력으로는 부족함이 나타나고 있으며 이들을 효율적으로 뒷받침 해주기 위해서는 진술한 바와 같은 인공지능기법의 도입이 가장 적절한 해결책으로 주목 받고 있다. 또한 고도 산업화, 정보화 사회로 나가고 있는 현 상황은 안정적이고 신뢰도 높은 전력에너지의 공급을 절실히 요구 하고 있고 이를 위해서는 많은 보호, 제어기능의 자동화가 이루어져야 하지만 상위 개념의 보호, 운용, 계획 등은 현실적으로 기계에 의한 것이 아닌 인간, 즉 전문가의 판단이 요구되는 것이 대부분이다. 하지만 전문가의 숙련된 지식이란 단기간에 축적되는 것이 아니기 때문에 인원고체, 이동에 의한 공백은 여타 부분에 비해 훨씬 크게 나타난다. 더욱이 복잡화, 대규모화 되는 전력시스템의 보호, 운용, 계획은 전문가라 하더라도 감당하기 어려운 것이 사실이다. 1979년 Three-Mile 원전사고시 동시의 100개 이상의 정보가 접수 되어 운전원이 신속하고 정확한 판단을 내리기 어려운 상황이 되었던 것은 바로 이러한 문제를 보여주는 한 예가 될 수 있다.

따라서 전문가의 축적된 경험과 지식을 시스템화 하여 인원의 교체, 이동 등에 의한 공백을 최소화하고 전문가라 하더라도 한계에 달할 수 있는 상황에서 이들을 지원할 수 있는 기술의 개발이 요구되는 데 바로 이러한 점이 인공지능의 전력시스템에의 실용화 가능성이 주목 받고 있는 이유이다.

경제적인 측면에서도 인공지능 시스템의 개발 도입으로 인해 인원 교체, 이동에 의한 손실과 신규인원 교육에 필요한 시간과 비용을 최소화 하고, 신뢰도가 높고, 안정적인 전력에너지의 공급이 실현되면 이에 의해 얻어지는 사회 전반의 경제적인 이득은 장략적으로 계산될 수 없을 정도로 크다고 할 수 있다.

11. 인공지능 기법의 개요

전력시스템에 일반적으로 사용되는 인공지능 기법은 전문가 시스템, 신경회로망, 퍼지 시스템등으로 대별되는데 각각에 대한 특성을 다음에 기술한다.

1. 전문가 시스템 (Expert System)

어떤 분야에 있어서의 전문가가 그동안 경험에 의해 축적된 지식과 Know-how를 지식베이스(Knowledge)화 하고, 전문가가 판단, 결정을 하는 사고과정을 정형 (추론 기관: Inference Engine)화 하여 문제 발생시 실제의 전문가가 문제해결을 수행하는 과정을 모방하고 더 나아가 인간의 한계를 극복해 보고자 하는 시스템이다. 이러한 전문가 시스템은 지식베이스의 데이터와 룰을 기본으로 하여 추론을 행하게 되는데 다양한 추론 방식에 의한 탐색을 통해 최종 결론에 도달하게 된다.

2. 신경회로망 (Neural Networks)

신경회로망은 40년대 McCulloch & Pitts의 뉴론 모델 그 시초로 하여 관심을 끌었으나 1969년 Minsky & Papert의 유명한 저서 'Perceptron'에서 기술된 바와 같이 한계를 갖고 있음이 밝혀져 얼마간의 침체기를 갖게된다. 그후 80년대에 들어서 이러한 한계를 다층의 신경회로망으로 극복하고 이 외에 Hopfield, Kohonen, PDP Group등의 선도적인 연구를 통해 현재는 전세계적으로 폭발적인 관심이 모아지고 있다.

3. 퍼지 시스템 (Fuzzy Systems)

불분명한 수량적인 정보를 다루는 기법으로서 인간의 사고나 판단의 애매모호함을 다루기 위해 1965년 L.A.Zadeh 교수에 의해 제안된 퍼지 집합 이론 (Fuzzy Set Theory)을 적용한 시스템이다. 따라서 퍼지 시스템은 경계가 명확하지 않은 Linguistic Terms을 그대로 처리할 수가 있다. Inverted Pendulum의 단순한 물의 형태를 예로 들면 다음과 같다.

IF  $\theta$  = Positive Small and  $\Delta\theta$  = Zero  
Then  $\nu$  = Negative Small

III. 전력 시스템에 있어서의 인공지능 기술

1. 인공지능 기반기술

효율적인 전력시스템의 운용을 위해서 요구되는 기반기술은 대략 다음과 같다.

1.1 전문가 시스템

- 지식 표현법, 추론 기법, 지식 축적 기법
- 전문가 시스템 구조, Man-Machine Interface
- 전문가 시스템 개발용 Tool

1.2 신경회로망

- 학습패턴의 분석, 선정, 형태의 전처리 과정
- 학습 규칙, 신경회로망의 모델

1.3 퍼지 시스템

- 퍼지 표현법, 퍼지 규칙 표현법, 비퍼지화 기법

1.4 기타

- 데이터 베이스 연계 기술
- 컴퓨터 네트워크와의 연계 기술
- GUI (Graphic User Interface) 기술
- 병렬 및 분산 컴퓨터 시스템
- 신호처리 기술

2. 전력시스템에 있어서의 인공지능 응용가능 분야

2.1 전문가 시스템

- Alarm Processing, - 사고 진단, - 계통 복구,
- Steady-State and Dynamic Security, - Planning,
- 운전용 시뮬레이터, - 변전소 감시 및 제어,
- 유지 및 보수 계획, - 전압 및 무효전력 제어, 등

2.2 신경회로망

- 전력 수요 예측, - 비선형 부하 모델링,
- 과도 안정도 해석, - 동태 안정도, - 상태 추정
- Alarm Processing, - 사고 진단, - 각종 기기 감시
- Steady-State and Dynamic Security, - 발전기 제어
- 고조파 부하 해석, - 전류 분류
- 고전압기기 부분 방전 발생 인식
- 최적 전력 부하 배분, - 배전 계통 부하 배치

2.3 퍼지 시스템

- 발전기 제어, - 전력 수요 예측, - Planning,
- Alarm Processing, - 사고 진단, - 계통 복구,
- Steady-State and Dynamic Security
- 변전소 감시 및 제어, - 유지 및 보수 계획,
- 전압 및 무효전력 제어, - 고조파 부하 해석,
- 전류 분류, - 고전압 기기 부분 방전 발생 해석,
- 전하 중첩법의 최적 전하 배치, 표현 전하법의 최적 분할
- 유한 요소법의 최적 요소 분할

3. 적용 사례

3.1 전력계통 사고 구간 진단

80년대초 전문가 시스템의 적용이 시도된 이후 다양한 방법에 의해 개발이 진행되고 있으며 선진국에서는 이미 실용화에 가까워진 분야이다.

(1) 전문가 시스템

계통의 사고시 발생하는 계전기, 차단기의 동작상태를 IF-THEN 규칙에 의해 표현하여 사고시 이러한 규칙을 탐색하여 최종적인 해결점(사고구간)에 도달하는 방식이다.

(2) 신경회로망

전문가 시스템과는 달리 사고시 계전기, 차단기의 동작상태를 패턴으로 표현하여 이러한 패턴을 신경회로망에 학습 시킨후 사고시 패턴을 수행한다. 신경회로망의 방법은 병렬분산처리 특성에 때문에 전용의 하드웨어가 구성된다면 초고속의 판정이 가능하고 또한 보관성능, 내잡음성등이 장점이다. 초기의 시험적인 간단한 모델 [1][2]을 시초로 최근에는 실제중에 적용 가능한 구조의 계층형 신경회로망의 모델[3]이 제시 되었다.

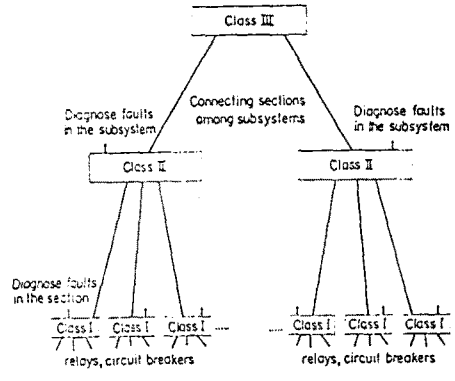


그림 3 사고구간 진단을 위한 계층형 신경회로망

(3) 기타

이외에 계전기, 차단기의 정보[4] 와 Time Sequence 정보 [5]를 Marker Propagation 기법에 의해 Cause-Effect Network에 적용하는 방법과 전력계통 요소들의 사고와 계전기 및 차단기 간의 인과관계를 Petri Net으로 표현하여 사고구간 판정을 수행하는 방법[6] 등이 발표 되어있다.

차후에는 진단 결과에 대한 신뢰도를 사용자에게 제공할수 있는 방법에 대한 연구, 고품질의 Man-Machine Interface, 기존 데이터 베이스와의 연계기술 등에 대한 연구가 진행 되어야 할 것이다.

3.2 단기 전력 수요 예측

전력의 안정공급을 위한 전력공급 운용계획의 기본판단 자료가 되며 그 정확도는 경제성과 직결된다. 특히 단기 수요예측은 Hydro-Thermal Coordination, Economic Load Dispatch 등에 중요한 자료가 된다. 기존에는 시계열 해석법이 대부분이었으나 예측이한 분야 자체에 내재된 불확실성 때문에 최근에는 인공지능 기법의 적용[7]이 추가 되고 있다. 특히 신경회로망과 퍼지 이론에 의한 적용이 유망하다고 보여진다.

일반적으로 사용되는 기법은 시간대별 부하간의 상관관계를 패턴화 하여 Batch 학습 시킨후 예측에 이용하는 것으로서 다양한 신경회로망 모델이 제안되고 있다. 특수일의 경우는 그 변동성이 매우 다르기 때문에 이와 같은 방식은 한계가 있고 실제로 단순한 신경회로망을 이용한 수요예측의 경우 주말을 포함하여 특수일의 예측오차는 4-5%에 달하고 있다. 따라서 특수일의 경우는 평일과는 다른 접근 방법이 요구되나 아직까지는 활발한 연구가 적은 편이다.

최근에 제안한 Sequential 학습 방식으로 메신에 예측 모델을 변경시키면서 신경회로망을 예측에 사용하고, 특수일에 대해서는 퍼지 시스템을 적용하여 예측정도를 향상시키는 하이브리드 형태의 수요예측 시스템[8]도 이러한 한계를 극복하기 위한 시도이다. 이 경우 평일 뿐 아니라 특수일의 경우도 약 2% 정도의 예측오차를 얻을수 있다.

3.3 변전소 운용 지원 시스템

변전소 운용 지원 시스템은 현재 SCADA가 설치 되어 있는 전력 관리처와 전력소에 위치하여 SCADA가 관할하는 변전소의 운용지원, 즉 사고구간 및 사고유형의 판단, 변전소 기기 감시 및 상황 예측, 보수 지원, 방재 감시, 환경에 따른 기기 상태 변화 예측 등을 수행하게 된다. 이 시스템은 후에 기술될 기초 전력 공학 공동 연구소의 전력 신기술 센터의 중점 과제이다. 변전소 운용 지원 시스템의 개념도는 다음과 같다.

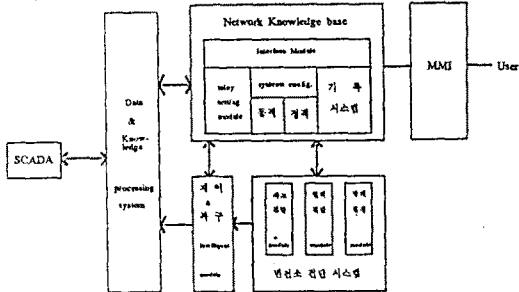


그림 5. 변전소 운용 지원 시스템의 개념도

IV. 국내외의 연구동향

1. 국내

1980년대 중반 이후 전력계통 사고구간 진단에의 전문가 시스템 적용을 시작으로 현재까지 다양한 방식의 인공지능 기법이 적용되고 있으며 다수의 연구논문이 발표되고 있다. 그러나 아직까지는 실제 현장에서 사용될 수 있는 정도의 실용화된 인공지능 시스템은 거의 없는 상태이고 기초적인 연구나 Prototype의 전문가 시스템이 개발된 상태이다.

1993년 5월, 서울대학교내 기초 전력공학 공동연구소에 전력 시스템 신기술센터가 설립되어 산, 학, 연 공동의 연구체제를 통해 전력 시스템에의 인공지능 적용의 활성화를 목표로 운영되고 있다. 현재 전력시스템 신기술센터는 중점 연구 목표를 변전소의 제어, 관리를 지원 하는 Intelligent System과 전력계통 계획, 운용, 관리 시스템의 개발에 두고 있으며, 향후 센터의 효율적인 운영과 연구 개발이 이루어진다면 선진국 수준의 실용화 단계의 인공지능 시스템의 개발이 기대된다.

2. 국외

국외, 특히 미국 및 일본 등 선진국에서는 국내와 달리 전력계통에 다양한 형태의 인공지능 시스템이 개발되고 있고 전문가 시스템의 경우는 실용화 단계에 까지 도달하여 있다. 더욱이 아직은 기초단계인 신경회로망, 퍼지 시스템의 경우도 많은 연구 지원이 이루어지고 있다. 1990년부터 1992년까지 CIGRE가 주관하여 조사한 결과 (CIGRE Task Force TF 38-06-03[9])에 의하면 총 24개의 전문가 시스템이 현재 실용화 단계에 와 있는 것으로 분석되었다. 그림 6.에 실용화된 전문가 시스템을 부문별로 나타내었다.

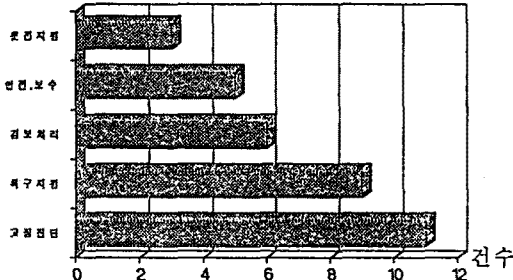


그림 6. 실용화 단계의 전문가 시스템

실제로 이론적인 연구에 치중했던 미국보다는 일본이 실용화에 있어서는 앞서 있으며 각 전력회사 별로 많은 연구 개발 투자에 의해 큰 성과를 거두고 있다. 지역별로 운영되고 있는 일본의 각 전력회사는 별도의 계획에 의해 인공지능 기법에 대한 연구, 개발이 진행중이다. 각 전력회사별 개발 현황을 간략히 표 1.에 나타내었다.

V. 결론

이상과 같이 전력 시스템에 있어서의 인공지능 기술의 적용 가능성, 적용 가능 분야, 사례 그리고 국내외의 동향에 대해 간략하게 기술하였다. 인공지능 기법은 초기의 회의적인 시각에도 불구하고 다양한 연구 개발을 통해 많은 성과와 더불어 미래에 대한 가능성을 계속적으로 제시해 왔다. 따라서 그간의 연구결과와 국외의 개발동향에 비추어 볼때, 전력시스템에의 인공지능의 적용 가능성을 타진하는 단계는 이미 지났다고 보여지고 향후에는 실용화된 인공지능 시스템의 개발에 주력을 해야 할 것으로 생각된다.

그러나 인공지능의 장점을 살리기 위해서는 본문에서 기술한 바와 같이 각 기법의 특성에 대한 올바른 이해와 더불어 적용대상에서 요구되는 조건들에 대한 파악이 필수적이다. 이러한 점이 강조되는 이유는 어떤 적용대상과 인공지능 기법과의 결합은 기존의 방법에서 얻어지는 결과에 비해 향상된 결과를 얻지 못하는 경우가 생길 수도 있고 최악의 경우는 적용의 의도가 무의미해질 수도 있기 때문이다. 따라서 인공지능 시스템의 개발에 있어서는 적용대상의 문제점을 해결할 수 있는 최적의 방법에 대한 검토가 선행되어야 할 것이다.

인공지능은 다소 이론적으로 취약한 점에도 불구하고 그 응용 가능성이 무궁무진하기 때문에 새로운 방법론으로서의 자리를 잡아가고 있다. 실제로 인공지능의 궁극적인 목표는 공학에서 실용화 될수 있는 시스템의 개발에 있기 때문에 향후 우리나라에서도 산, 학, 연의 밀접한 연계를 통한 연구 개발이 이루어진다면 선진국 수준의 기술력을 갖게 되리라고 보여진다.

	개발 방침	개발 시스템
학제도 진척 (北野眞)	o 「예측 기술」의 개발을 주 목표로 o 예측제어로 지원사용의 최적화	- 뇌회 예측 시스템 - 진단 최적 예측 시스템 - 최적 연소 관리 시스템
동북 진척 (北東)	o 「21세기를 향한 정형발전 기본구상」에서 정형발전으로 추진 o 인공지능 기술을 이용한 고도 정보 시스템의 실현	- On-line 네트워크 교장진단 - 가전기기 컨설팅 시스템 - 배전설비 복구 지원 - 전차개전기 저동운용 지원 - 수력발전소 진단
동경 진척 (東京)	o 전력시스템의 운용, 계획, 보수, 관리등의 업무에 인공지능시스템의 연구, 개발을 진행	- 화력 보수 계획 시스템 - 전기공작물 정지계획 조정 지원 - 변전소 설비 감시
중부 진척 (中部)	o 화력, 원자력, 개공운용, 송변전등의 분야에 연구, 개발	- Prototype 이 약 10가지 - 실용화 진행
북부 진척 (北北)	o 입부차리의 효율화와 진피도 향상을 목표 o 경험과 지식이 요구되는 입부의 자동화	- 개공 운용 지원 시스템 - 고장 진단 지원 시스템
간시 진척 (関西)	o 1986년 이후 개발 시작 o 매년 40-50건 개발 추진	- 500KV 변전소 운전 지원 - 유입기기(油入機器)의 열화진단 - 발전선 부하의 용동, 절제 시스템 - 화력발전소 운전 지원 시스템
중국 진척 (中国)	o 전사적인 인공지능 프로젝트 추진	- 변전설비 보전 지원 - 전력계통 사고학구 지원 - 개공사고 해석 지원 - 화력 발전소 운전 보수 지원 - 원전 운전조작 요소 기술 - 이상진단 (원지력부분) - 변전설비 진단 지원 - 요금입부 일정표시 작성
사국 진척 (四国)	o 80년대에 타당성 확인 o 부분별로 개발 추진	- 기간계통 사고학구 지원
구주 진척 (九州)	o 공급 신뢰도 향상을 목표	- 전력계통 운용 지원 시스템

표 1. 일본 9개 전력회사별 인공지능 시스템 개발 현황

VI. 참고 문헌

- [1] H.Tanaka, et al. "Design and Evaluation of Neural Network for Fault Diagnosis," Proc. of the 2nd ESAP, Seattle, USA, 1989
- [2] K.S.Swarup, H.S. Chandrasekharaiah, "Fault Detection and Diagnosis of Power Systems Using ANN," Proc. of the 3rd ESAP, Tokyo-Kobe, Japan, 1991
- [3] K.H.Kim, J.K.Park, "Application of Hierarchical Neural Networks to Fault Diagnosis of Power Systems," Int. Journal of Electrical Power & Energy Systems, Vol.15, No.2, April 1993
- [4] Y.Sekine, et al, "Fault Section Estimation Using Cause-Effect Network," Proc. of the 2nd ESAP, Seattle, USA, 1989
- [5] C.Yang, A.Yokoyama, Y.Sekine, "Expert System for Fault Section Estimation of Power System Using Time Sequence Information," Proc. of the 3rd ESAP, Tokyo-Kobe, Japan, 1991
- [6] C.Yang, A.Yokoyama, Y.Sekina, "Fault Section Estimation of Power System Using Color Time Petri Nets," Proc. of the 4th ESAP, Melbourne, Australia, 1993
- [7] K.Y.Lee, Y.T.Cha, J.H.Park, "Short-Term Load Forecasting Using An Artificial Neural Networks," IEEE Trans. on Power Systems, Vol.7, No.1, 1992
- [8] K.H.Kim, D.Y.Park, J.K.Park, "A Hybrid Model of Artificial Neural Network Aand Fuzzy Expert System for Short Term Load Forecast," Proc. of the 4th ESAP, Melbourne, Australia, 1993, pp164-168
- [9] C.C.Liu, et al, "Practical Use of Expert System in Power Systems," Proc. of the 4th ESAP, Melbourne, Australia, 1993, pp1-12
- [10] 岩本 伸一, "ニューラルネットワーク理論とその電力, エネルギー"- 分野への 応用", Trans. of IEE of Japan, Vol.111-B, No.7, 1991
- [11] OHM 지, Vol.78, No.1, 1991