

인공신경망을 이용한 데이터베이스 기반의 광역단지 에너지 수요예측 기법 개발

공동석*, 광영훈**, 이병정***, 허정호****

*서울시립대 대학원 건축공학과(br011503@naver.com), **서울시립대 대학원 건축공학과(ikyh2@uos.ac.kr),
****서울시립대 컴퓨터과학부 교수(bjlee@uos.ac.kr), ****서울시립대 건축학부 교수(huhj0715@uos.ac.kr)

A Methodology of Databased Energy Demand Prediction Using Artificial Neural Networks for a Urban Community

• Kong, Dong-Seok*, Kwak, Young-Hun**, Lee, Byung-Jeong***, Huh, Jung-Ho****

*Dept. of Architecture, Graduate School, University of Seoul(br011503@naver.com),

**Dept. of Architecture, Graduate School, University of Seoul(ikyh2@uos.ac.kr),

***Dept. of Computer Science, University of Seoul(bjlee@uos.ac.kr)

****Dept. of Architecture, University of Seoul(huhj0715@uos.ac.kr)

Abstract

In order to improve the operation of energy systems, it is necessary for the urban communities to have reliable optimization routines, both computerized and manual, implemented in their organizations. However, before a production plan for the energy system units can be constructed, a prediction of the energy systems first needs to be determined. So, several methodologies have been proposed for energy demand prediction, but due to uncertainties in urban community, many of them will fail in practice.

The main topic of this paper has been the development of a method for energy demand prediction at urban community. Energy demand prediction is important input parameters to plan for the energy planing. This paper presents a energy demand prediction method which estimates heat and electricity for various building categories. The method has been based on artificial neural networks(ANN). The advantage of ANN with respect to the other method is their ability of modeling a multivariable problem given by the complex relationships between the variables. Also, the ANN can extract the relationships among these variables by means of learning with training data. In this paper, the ANN have been applied in oder to correlate weather conditions, calendar data, schedules, etc. Space heating, cooling, hot water and HVAC electricity can be predicted using this method. This method can produce 10% of errors hourly load profile from individual building to urban community.

Keywords : 에너지수요예측(energy demand prediction), 광역단지(urban community), 에너지 사용계획(energy planing), 인공신경망(artificial neural networks), 학습(learning), 기상조건(weather conditions)

기 호 설 명

epochs	: 학습회수
lr	: 학습률
R	: 상관계수
MSE	: 절대평균 오차율 (Mean square error)

1. 서 론

최근의 에너지부분의 정책 이슈는 시장 개방, 에너지공급안정, 기후변화와 배출물질의 통제, 청정에너지 공급확대이다. 이들은 모두 효율적이고 친환경적 에너지사용에 근거한다. 효율적인 에너지사용을 위해서는 에너지 사용계획에 근거한 에너지소비가 이루어져야 한다. 즉 최적의 생산을 통한 최적의 소비로 에너지를 낭비 없이 사용할 수 있어야 한다. 이를 위해서는 필요한 에너지사용량을 정확히 예측 할 수 있는 기술인 에너지수요 예측기술이 필수적으로 수반되어야 한다. 특히, 대규모 단지 개발 시 집단에너지 및 신재생에너지를 도입하는 사례가 늘어남에 따라서 이들 기술을 효과적으로 사용할 수 있게 해주는 에너지수요예측기술에 대한 기대치는 더욱 증가하고 있다.

하지만 미래의 값을 예측한다는 것은 어려운 일이며, 건축물은 많은 사회적·물리적인 변수의 영향을 받기 때문에 그 변화 패턴을 예측하기는 매우 힘들다. 그러나 기존의 많은 연구에서는 데이터베이스에 근거한 합리적 절차에 따른 예측 방법을 제시하고 있으며, 그 중 AI기법의 하나인 인공신경망을 사용한 예측방법은 매우 효과적인 것으로 나타났다.

따라서 본 연구 인공신경망 기법을 이용하여 에너지수요예측 모델을 작성하고 광역단지로 확장하기 위한 방안을 제시하고자 한다. 또한, 데이터베이스의 구성을 위해서 DOE에서 제공한 표준모델을 분석하여 국내

조건에 맞는 데이터베이스를 구축하여 사용하였다.

2. 시스템 개발을 위한 예비적 고찰

수요예측 시스템 개발을 위해 인공신경망과 그에 따른 입력변수의 선정, 건물 및 에너지의 사용용도별 구분에 관하여 고찰하였다.

2.1 인공신경망

인공 신경망이란 인간이나 동물의 뇌구조를 모방한 계산 모델로 학습에 의하여 지식을 얻고, 저장할 수 있는 기능을 갖춘 것으로 생물학적 두뇌작용을 모방하는 기법이다. 신경망 모델은 각 뉴런의 기능, 망의 구조, 데이터에 따른 적응 알고리즘에 의해 여러 가지로 구분되지만, 그 중 예측에 가장 적합한 것으로 알려진 모델은 역전파알고리즘을 사용한 다층퍼셉트론 방식으로 그림1과 같은 구조를 가진다.

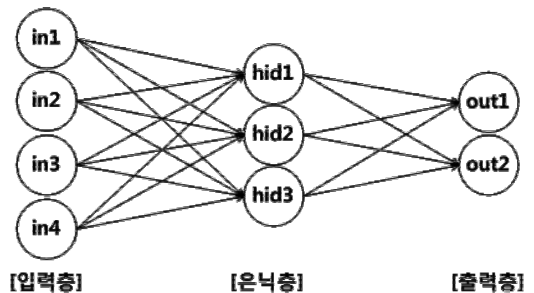


그림 1. 적용된 신경망의 구조

인공신경망 모델의 성능은 기존 데이터의 학습을 통한 뉴런과 연결층의 가중치의 최적화를 통해서 결정된다. 기존 데이터를 학습 데이터로 사용하기 때문에 학습데이터가 올바르지 않은 경우 정확한 예측값을 얻을 수 없다. 따라서 정확한 데이터베이스를 구성하는 것이 중요하다고 할 수 있다.

2.2 입력변수 선정

인공신경망을 학습시키기 위해서는 건물의 에너지 사용량에 영향을 주는 관련요소들을 선정하여 입력변수로 적용하여야 한다. 일반적으로 부하에 영향을 미치는 요소로는 현열 부하 및 잠열부하에 영향을 주는 기상조건과 건물의 운영조건에 영향을 주는 시간조건이 있다. 본 연구에서 인공신경망을 학습시키는데 사용된 입력변수는 표1과 같다.

표 1. 신경망 입력변수

기상조건		시간조건	
변수	단위	변수	단위
건구온도	℃	요일	평일/주말
상대습도	%	시간	1~24
풍속	m/s	-	-
일사량	w/m ²	-	-

2.3 건물 및 에너지의 사용용도별 구분

광역단지는 다양한 종류의 건물들로 이루어져 있고, 건물용도마다 에너지사용 패턴은 다른 형태를 나타낸다. 때문에 하나의 예측 모델로서 이들을 전부 예측하는 것은 불가능하고 건물의 용도별로 예측 모델을 구분하는 작업이 선행되어야 한다. 이것은 기존에 연구된바가 있으므로[2], 이를 바탕으로 구분하였다.

표 2. 건물의 용도별 구분

건물용도	구분			
	주거시설	단독주택	아파트	
업무시설	소형	중형	대형	
상업시설	호텔	식당	판매	
의료시설	병원/보건소			
교육시설	학교			

또한 건물에서의 에너지는 사용용도별로 그 부하형태가 다르게 나타난다. 따라서 정밀한 예측을 위해서는 건물에서 사용되는 에너지들을 구분하여 각기 다른 수요예측 모델을 적용해야 한다. 본 연구에서는 건물의 에너지를 그 사용목적에 따라서 난방, 급탕, 조명, 전열, 공조, 냉방으로 구분하여 예측모델을 나누었으며 그림2와 같다.

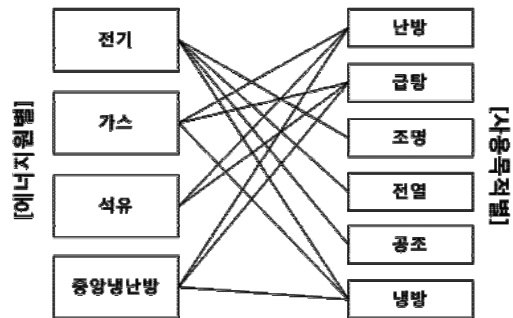


그림 2. 건물에너지의 사용목적별/원별 구분

3. 데이터베이스(D/B)

상기에 언급한 바와 같이, 인공신경망을 사용하는 모델의 경우 D/B가 반드시 필요하기 때문에 본 연구에서는 광역단지에 EMIS 설비가¹⁾ 모두 설치되어 있다고 가정하였다. 하지만 현재 활용 가능한 광역단지의 D/B는 구축되어 있지 않기 때문에 D/B는 시뮬레이션 프로그램을 통하여 구축하였다. 시뮬레이션 프로그램은 EnergyPlus3.0을 활용하였으며, D/B를 만들기 위한 표준모델은 미국에너지성(DOE)에서 제공하는 16가지 타입의 모델을 활용하였다. 이 표준모델은 기후가 다양한 미국지역 16개 기후마다 입력변수를 수정하여 만든 것이다. 따라서 국내기후를 적용하기 위해서는 이 표준모델들의 입력변수를 수정하여 국내용으로 변환하는 과정이 필요하다. 표3은 표준모델을 국내용으로 변환하기 위해 수정한 변수들을 나타내고 있다.

1) EMIS :Energy Management Information System

표 3. 표준모델 수정변수

Class Name		Parameters
Site		Location
SizingPeriod		DesignDay
RunPeriodControl		SpecialDay
		DaylightSavingTime
GroundTemperature		℃
Schedule:Compact		Building_Occ_Sch
		Building_Lighting_Sch
Fabric	Exterior walls	R-value (m ² ·K / W) Construction Material
	Window	U-Factor (W / m ² ·K)

4. 수요예측모델 개발

4.1 인공신경망 모델구현

인공신경망은 그 방법과 구성에 따라서 많은 방법들이 있으나, 상기에 언급한 바와 같이 미래의 값을 예측하기에 적합한 알고리즘은 다층퍼셉트론방식에 역전파알고리즘을 사용하는 것이다. 역전파알고리즘은 신경망이 다층으로 구성된 경우 전향단계에서 신경망의 출력값을 계산하고, 후향단계에서 가중치를 갱신해나감에 목표값과의 오차를 줄여나가는 방식의 알고리즘이다. 또한 학습방법으로는 수렴속도 및 성능이 가장 우수하다고 알려져 있는 LM(Levenberg-Marquardt)알고리즘을 사용하였다. 수요예측을 위해 사용된 신경망은 각각 입력층1개, 은닉층5개, 출력층1개로 구성되었으며 학습률은 0.01씩 증가되도록 하였다. 학습반복횟수는 최대 1000번이고, 500번동안 모델의 성능이 개선되지 않을 때 조기종료 되도록 설정하였다. 본 연구에서 수요예측을 위해 사용한 신경망의 구성은 표4와 같다.

이러한 신경망 알고리즘은 계산과정이 복잡하고 양이 방대하기 때문에, 컴퓨터 프로

그램을 이용해야 한다. 본 연구에서는 Matlab7.6의 Neural ToolBox를 이용하여 인공신경망을 구현하였다.

표 4. 인공신경망 모델 구성

Network Parameters		Training Parameters	
Type	Feed-forward back-propagation	epochs	1000
Transfer function	TRAINLM	lr	0.01
Hidden Layer	5	max_fail	500
Number of neurons	24/12/6/3/1	-	

4.2 에너지수요예측

수요예측 모델은 기상데이터를 입력데이터로 받고 에너지사용량을 목표값으로 설정하여 학습한 후 예측되는 기상조건을 입력하면 에너지사용량을 예측할 수 있게 작성 하였다. 본 연구에서 사용된 수요예측 모델의 개념도는 그림3과 같다.

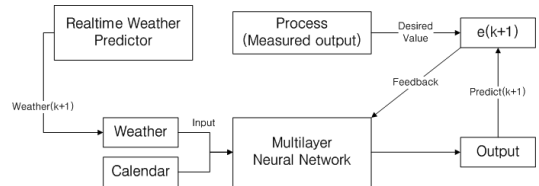


그림 3. 수요예측 모델 개념도

작성된 수요예측 모델을 시험하기 위해서 상기의 내용을 바탕으로 데이터베이스 중 아파트 건물용도에 대하여 수요예측 모델을 작성하였다. 그림4는 1월의 난방에너지수요를 예측한 것으로 MSE는 9.27%, 실제값과의 상관계수(R)는 0.92로 나타났다. 또한 그림 9는 7월의 냉방부하를 예측한 것으로 MSE는 12.9%, 상관계수(R)은 0.92로 나타났다. 예측 결과는 에너지의 사용목적과 부하형태에 따라서 결과는 조금씩 달라지나 부하프로파일

은 대체로 유사하게 예측함을 알 수 있었다. 표5는 본 연구를 통해 작성된 수요예측 모델의 예측 결과값을 나타내고 있다.

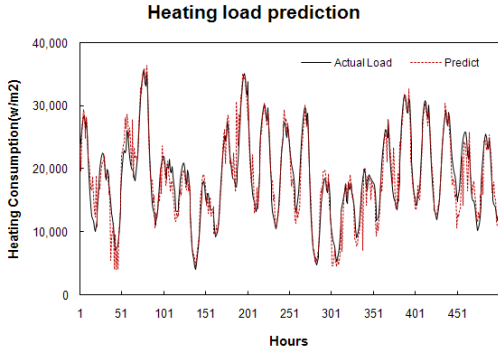


그림 4. 난방에너지사용량

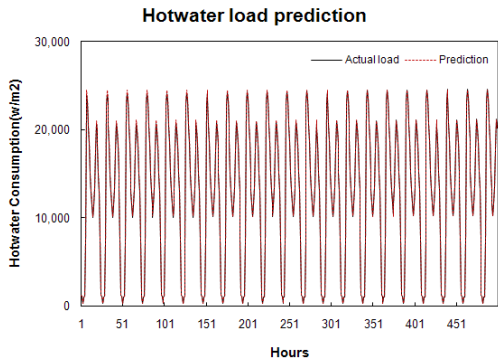


그림 5. 급탕에너지사용량

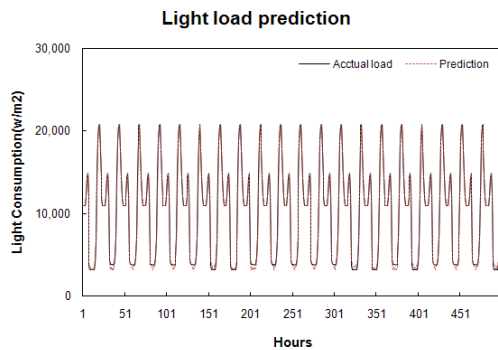


그림 6. 조명에너지사용량

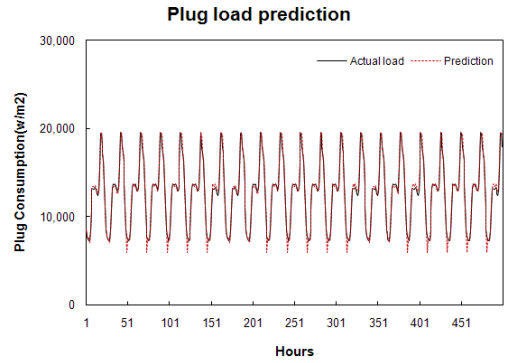


그림 7. 전열에너지사용량

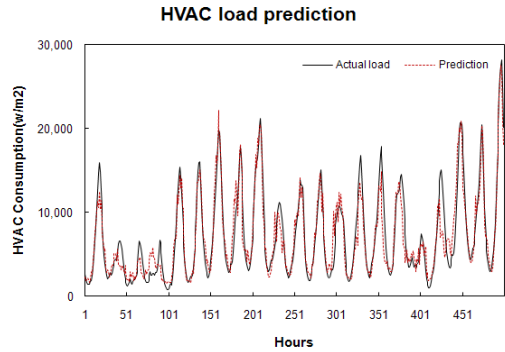


그림 8. 공조에너지사용량

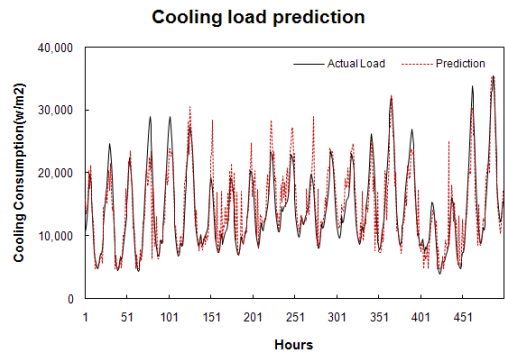


그림 9. 냉방에너지사용량

표 5. 수요예측 모델의 결과값

구분	난방	급탕	조명	전열	공조	냉방
MSE	9.27	1.1	3.67	2.08	21.0	12.9
R	0.92	0.99	0.97	0.98	0.94	0.92

5. 결론 및 향후연구

본 연구에서는 광역단지에서 데이터베이스를 이용한 에너지수요예측 기법개발을 위해서 표준모델을 이용하여 데이터베이스를 구축하고 인공신경망을 이용한 에너지수요예측 기법을 개발하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

- (1) 데이터베이스 구축을 위해 DOE표준모델을 이용하였으며, 입력변수를 조정하여 국내용으로 변환 후 광역단지용 데이터베이스를 구축하였다.
- (2) 인공신경망을 이용한 시간단위 에너지수요예측 결과 MSE는 난방과 냉방부하의 경우 10%대로 나타났고, 급탕, 조명, 전열부하의 경우 4%미만으로 나타났다. 또한, 실제부하와의 상관성은 0.9이상으로 매우 유효한 결과임을 확인하였다.
- (3) 본 연구에서 사용된 수요예측 시스템은 광역단지의 에너지사용 형태가 바뀔 때마다, 최신의 데이터로 재학습 시켜야 하는 한계가 있다. 이러한 단점을 보완하기 위해서, 차후 연구로는 주기적인 자동학습을 통해서 광역단지 부하의 변동을 능동적으로 대체할 수 있는 자가학습 수요예측모델을 연구할 예정이다.

후 기

본 연구는 국토해양부가 주관하고 한국건설교통기술평가원이 시행하는 2008년도 첨단도시개발사업(과제번호:08도시재생B04) 지원사업으로 이루어진 것으로 이에 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

1. 이경호, James E. Braun, 건물냉방부하에 대한 동적 인버스 모델링기법의 EnergyPlus 건물모델 적용을 통한 성능평가, 설비공학

논문집 제 20권 제3호(2008).

2. 공동석 등 4인, 데이터베이스를 기반으로 한 광역단지에서의 에너지 수요예측 기법 개발, 한국건축친환경설비학회 2009년 춘계학술발표대회 기획세션 도시복합 에너지 시스템 개발(2009), 24-28
3. 산업자원부·에너지관리공단(2005), 에너지 사용계획협의제도 안내.
4. 에너지총조사 보고서, 산업자원부, 2006년
5. Linda Pederson, Load prediction method for heat and electricity demand in buildings for the purpose of planning for mixed energy distribution systems, Energy and Buildings 40(2008) 1124-1134.
6. Jin Yang, On-line energy prediction using adaptive artificial neural networks, Energy and Buildings 37(2005) 1250-1259.
7. A. Khotanzad, R. Afshkhami-Rohani, D. Maratukulam, ANNSTLF - artificial neural network short-term load forecaster -generation three, IEEE Transactions on Neural Networks 13 (4) (1998) 1413 - 1422, November.
8. Pedro A, Prediction of hourly energyconsumption in buildings based on a feedback artificial neural network, Energy and Buildings 37(2005) 592-601.