



2015년
한국생활환경학회
추계학술대회

2015. 11. 07 (토)
국민대학교 공학관



사단
법인 한국생활환경학회
The Korean Society of Living Environment System

인공신경망 적용 호텔 객실의 비재실기간 냉방에너지 소비예측

문진우* · 정성권**

*중앙대학교 건축학부, **단국대학교 건축공학부

Application of Artificial Neural Network for Predicting Cooling Energy Consumption for the Non-Occupied Period of the Hotel Rooms

Moon Jin Woo, Jung Sung Kwon

*School of Architecture and Building Science, Chung-Ang University, Korea, gilerbert73@gmail.com

**Department of Architectural Engineering, Dankook University, Korea

Abstract : This study aimed at proposing an artificial neural network model for calculating the amount of cooling energy during the setback period of accommodation buildings. Based on the comparison of the amount of heat removal required for diverse setback temperatures, the most energy-efficient setback temperature could be applied in the thermal control logic. The matrix laboratory (MATLAB) and the transient systems simulation (TRNSYS) softwares were used in an incorporative manner for developing ANN model and preliminarily testing its performance. Test analysis revealed that the statistical relationship between the simulated values and the predicted values was presented as 0.4886 of R2 and 0.768 kWh² of mean squared error (MSE). From the analysis, the necessity of model optimization was clearly found to calculate more accurate results. Further study will be followed for developing an optimal prediction model.

Key words : Predictive controls, Cooling system, Artificial neural network, Hotel, Thermal controls

1. 서 론

현대 도시생활인의 실내 재실 기간이 하루 중 90% 이상이 되고 있으며, 이에 따라 실내 환경의 질은 재실자의 삶의 질에 직접적 영향을 미치고 있다[1]. 실내 환경의 질은 열환경, 빛환경, 소리환경, 공기환경 등 다양한 요소로 이루어져 있으며, 이러한 요소들의 제어는 건물 에너지 및 환경 성능과도 밀접한 관계를 가지고 있다.

이 중 실내 열환경의 질(Thermal quality)은 실내 환경의 질을 결정짓는 가장 중요한 요소 중의 하나이다. 건물 실내 열환경은 온도, 습도, 평균복사온도, 공기속도 등에 의하여 결정되며, 이러한 결정요소는 실내외간 열전달, 태양복사, 실내부와 외부 관련이 있다.

또한, 실내 열환경의 질은 각종 열환경 제어 시스템의 작동 방법에 밀접한 영향을 받는다. HVAC 시스템의 적절한 제어를 통하여 최적한 실내 열환경을 제공할 수 있으며, 또한 건물 냉난방에너지 효율 향상 및 탄소배출량 감소 등의 효과를 도출할 수 있다[2].

최근 열 환경 제어시스템의 최적제어를 위한 다양한 연구가 진행 중인데, 인공신경망(artificial neural network)을 이용한 예측제어법이 그 한 예이다. 인공신경망은 인간의 신경전달 및 학습과정을 공학적으로 적용한 모델로써[3], 비선형 모델 등 수학적 관계식을 확립하기 난해한 모델의 변수간 관계 확립 및 결과 도출에 유용한 것으로 드러나고 있다.

인공신경망 모델은 일련의 입력변수, 숨겨진층의 변수, 출력변수와 변수간 관계(weights), 전이함수(transfer functions)

를 이용하여 계산 출력값을 예측한다. 또한, 계산된 출력값과 실제값과의 차이를 이용하여 지속적인 학습을 실시하여 실제값과 보다 근접한 결과값을 도출할 수 있도록 한다.

인공신경망을 적용할 경우 기존의 수학적 모델 혹은 PID (proportional-integral-derivative) 모델을 적용한 경우보다 설비시스템 제어 측면에서 우수한 결과를 보였다. 예를 들어, 건물 냉난방 부하[4,5] 및 에너지 소비량[6-8]을 보다 정확히 예측 가능하였으며, 보다 최적한 실내 열환경을 제공할 수 있었다[9-13].

인공신경망을 이용한 예측제어는 비재실기간 호텔 객실의 에너지 효율적 제어에도 이용 가능한 것으로 예상된다. 호텔 부속객은 쾌적한 열 환경을 제공받기를 원하는 반면 소비 에너지 감소에는 민감하지 않다. 일정 금액의 숙박료를 지급하면 냉난방시스템의 사용에 제한을 받지 않게 된다. 따라서, 비재실기간의 셋백(setback)온도의 적용 혹은 최적 셋백온도에 관해선 관심을 두지 않는 경향이 있다.

본 연구에서는 인공신경망을 이용하여 호텔건물에 적용하기 위한 냉방시스템의 최적 셋백 온도를 예측하는 모델을 개발하고자 한다. 최적의 셋백 온도는 에너지 성능을 고려한 개념으로써 셋백 기간 동안의 냉방에너지 소비량과 정상상태로 환원하기 위하여 소비되어지는 소비량의 합의 최소인 것으로 판단되었다. 이를 위하여 MATLAB과 TRNSYS 소프트웨어를 이용하여 개발 및 성능테스트를 실시하였다. 테스트 결과는 예측된 냉방에너지량과 시뮬레이션을 통하여 획득된 냉방에너지량과의 비교를 통하여 예측의 정확성을 분석하였다.

2. 인공신경망 모델 개발

개발된 인공신경망 모델의 구성이 그림 1과 표 1에 정리되어 있다. MATLAB 소프트웨어의 neural network toolbox를 이용하여 개발되었다.

입력변수는 셋백온도($TEMP_{SETBACK}$, °C), 외기온도($TEMP_{OUT}$, °C), 지난 1시간 동안의 외기온도 평균($TEMP_{OUT, AVE, nstep-60-nstep-1}$, °C), 지난 2시간 전부터 1시간 전까지의 외기온도 평균($TEMP_{OUT, AVE, nstep-120-nstep-61}$, °C), 지난 3시간 전부터 2시간 전까지의 외기온도 평균($TEMP_{OUT, AVE, nstep-180-nstep-121}$, °C), 지난 4시간 전부터 3시간 전까지의 외기온도 평균($TEMP_{OUT, AVE, nstep-240-nstep-181}$, °C), 지난 5시간 전부터 4시간 전까지의 외기온도 평균($TEMP_{OUT, AVE, nstep-300-nstep-241}$, °C), 지난 6시간 전부터 5시간 전까지의 외기온도 평균($TEMP_{OUT, AVE, nstep-360-nstep-301}$, °C), 셋백기간($TEMP_{SETBACK}$, minutes)으로 구성되었다. 이러한 변수들을 이용하여 셋백기간 중의 냉방에너지 소비량($EN_{SETBACK}$, kWh)을 계산하게 된다. 입력변수는 0과 1 사이의 값을 가지도록 치환되어 각 입력뉴런에 적용된다.

모델의 학습과 성능평가를 위하여 그림 2에서 나타난 동일한 크기의 9개의 모듈 중 가운데의 모듈에서 데이터를 취득하였다. 테스트 모듈의 위치, 단열성능, 창기량, 실내부하, 그리고 적용된 냉방시스템이 표 2에 정리되어 있다. 데이터는 냉방기간인 6월 1일부터 9월 30일까지 23°C에서 40°C 사이의 다양한 셋백온도에 대하여 획득되었다. 이 때 셋백기간은 8.00부터 18.00까지로 고정되었다.

그림 3은 TRNSYS와 MATLAB이 적용된 모델링 결과물을 보여준다. 7개의 TRNSYS 요소가 사용되었으며, 특히 Type155 요소가 MATLAB에서 구현된 인공신경망 모델을 TRNSYS 환경과 접속시키는 역할을 하게 된다.

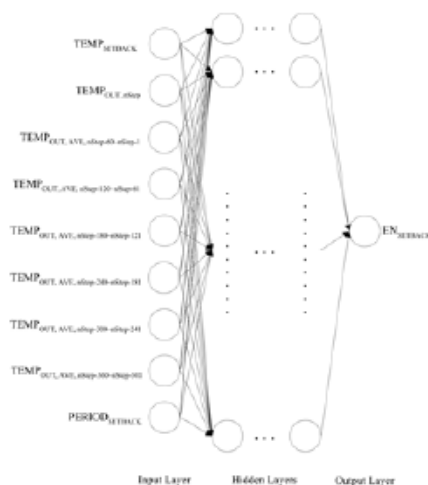


Fig. 1. The ANN model structure.

Table 1. The ANN model composition.

Structure	Input Layer	i) $TEMP_{SETBACK}$ ii) $TEMP_{OUT,AVE}$ iii) $TEMP_{OUT,AVE,nstep-60-nstep-1}$ iv) $TEMP_{OUT,AVE,nstep-120-nstep-61}$ v) $TEMP_{OUT,AVE,nstep-180-nstep-121}$ vi) $TEMP_{OUT,AVE,nstep-240-nstep-181}$ vii) $TEMP_{OUT,AVE,nstep-300-nstep-241}$ viii) $TEMP_{OUT,AVE,nstep-360-nstep-301}$ ix) $PERIOD_{SETBACK}$
	Hidden Layer	Number of neurons: 19 using $N_h = 2N_i + 1$ Number of hidden Layer: 1
	Output Layer	i) $EN_{SETBACK}$
Transfer Function	Hidden Neurons	Tangent Sigmoid
	Output Neurons	Pure Linear
Training Method	Goal	0.01 kWh (mean square error)
	Epoch	1,000 times
	Learning rate	0.6
	Moment	0.4
	Algorithm	Levenberg-Marquardt
	Number of data sets	196 using $N_t = (N_i - (N_i + N_h)) / 2^2$
Data management technique	Sliding-window method	

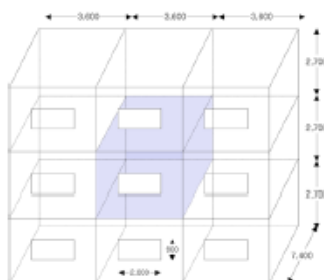


Fig. 2. Test module (unit: mm).

Table 2. Features of the test module.

Site		Seoul, South Korea
Dimension	Module	26.64 m ²
	Window	1.8 m ²
Insulation [m ² K/W]	Exterior walls	2.801
	Interior walls, roof and floor	0.492
	Windows	0.353
Infiltration Rate		0.7 ACH
Internal Gain		1 occupant with seated, light work, typing 1 computer and printer 5 W/m ² lighting fixtures
Applied System		Cooling: 8,901 kJ/hr heat removal

후 기

이 논문은 2015년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(과제번호 : 2015R1A1A1A05001142).

인용문헌

1. J.W. Moon, and J.J. Kim, 2010, ANN-based thermal control methods for residential buildings, *Building and Environment*, Vol. 45, pp. 1612-1625.
2. J.W. Moon, 2009, ANN-based model-free thermal controls for residential buildings, Dissertation for Ph.D. in Taubman College of Architecture and Urban Planning, University of Michigan, Ann Arbor, Michigan, USA.
3. W. McCulloch, W. Pitts, 1943, A Logical Calculus of Ideas Immanent in Nervous Activity, *The Bulletin of Mathematics and Biophysics*, Vol. 5, pp. 115-133.
4. K.W. Shin, and Y.S. Lee, 2003, The study on cooling load forecast of an unit building using neural networks, *International Journal of Air-Conditioning and Refrigeration*, Vol. 11, pp. 170-177.
5. S.A. Kalogirou, M. Bojic, 2000, Artificial neural networks for the prediction of the energy consumption of a passive solar building, *Energy*, Vol. 25, pp. 479-491.
6. R. Platon, V.R. Dehkordi, and J. Martel, 2015, Hourly prediction of a building's electricity consumption using case-based reasoning, artificial neural networks and principal component analysis, *Energy and Buildings*, Vol. 92, pp. 10-18.
7. R.Ž. Jovanović, A.A. Sretenović, and B.D. Živković, 2015, Ensemble of various neural networks for prediction of heating energy consumption, *Energy and Buildings*, Vol. 94, pp. 189-199.
8. N. Morel, M. Bauer, M. El-Khoury, and J. Krauss, 2001, NEUROBAT, a predictive and adaptive heating control system using artificial neural networks, *International Journal of Solar Energy*, Vol. 21, pp. 161-201.
9. A.A. Argiriou, I. Bellas-Velidis, M. Kummert, and P. Andre, 2004, A neural network controller for hydronic heating systems of solar buildings, *Neural Network*, Vol. 10, pp. 424-440.
11. J.W. Moon, S. Han, 2012, A Comparative Study Between Thermostat/Hygrometer-Based Conventional and Artificial Neural Network-Based Predictive/Adaptive Thermal Controls in Residential Buildings, *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, Vol.11, pp. 169-176.
12. H. Huang, L. Chen, and E. Hu, 2015, A neural network-based multi-zone modelling approach for predictive control system design in commercial buildings, *Energy and Buildings*, Vol. 97, pp. 86-97.
13. N. Li, L. Xia, D. Shiming, X. Xu, and M. Chan, 2013, On-line adaptive control of a direct expansion air conditioning system using artificial neural network, *Applied Thermal Engineering*, Vol. 53, pp. 96-107.

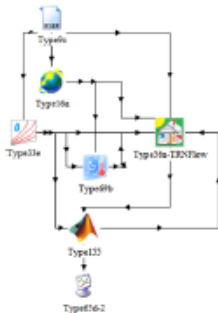


Fig. 3. Simulation modeling result.

3. 결과분석 및 결론

그림 4는 개발된 인공신경망 모델에서 예측된 냉방에너지 소비량과 적용된 시뮬레이션 모델로부터 획득된 냉방에너지 소비량의 비교를 보여준다. 명시된 추세선 부근에서 양 결과값들이 고르게 분포하는 것으로 나타났다.

표 3은 분산분석(analysis of variance, ANOVA)결과를 보여준다. 상관계수 R^2 는 0.489로 계산되었다. 또한, 각 결과물들의 오차제곱평균(mean squared error, MSE) 값은 0.768 kWh로 분석되었다.

예측결과분석을 통하여 제안된 인공신경망모델의 작동여부는 확인되었다. 하지만, 보다 개선된 정확도를 확보하기 위하여 추후 모델의 최적화를 실시할 필요가 있음이 밝혀졌다. 또한, 최적화된 모델을 실제 적용한 알고리즘의 개발이 요구되며, 개발된 알고리즘의 적용 및 성능분석의 과정을 통하여 인공신경망모델 기반 예측기에 방법의 실제 적용 가능성이 확보될 것으로 예상된다.

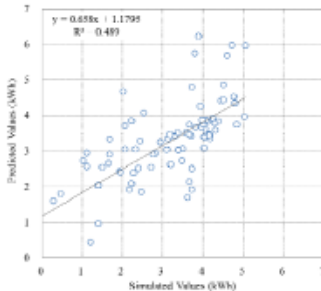


Fig. 4. Relationship between predicted and simulated values.

Table 3. ANOVA test result.

Independent variables	Unstandardized coefficients		t	Sig.	ANOVA		
	B	Std. error			R ²	F(1,54)	Sig.
Predicted Values	0.65	0.068	9.67	.001	.489	93.64	<.001