



2015년
한국생활환경학회
추계학술대회

2015. 11. 07 (토)
국민대학교 공학관



사단
법인 한국생활환경학회
The Korean Society of Living Environment System

이중외피건물 실내 열 환경 제어를 위한 인공지능이론의 적용 비교 분석

문진우*

*중앙대학교 건축학부

Performance Analysis of the Artificial Intelligence Theories for the Thermal Controls of the Double Skin Envelope Buildings

Moon, Jin Woo

*School of Architecture and Building Science, Chung-Ang University, Korea, glibert73@cau.ac.kr

Abstract : This study was aimed to develop artificial-intelligence(AI)-theory-based optimal control algorithms for controlling the indoor temperature and improving heating energy efficiency of the double skin envelope buildings. One conventional rule-based and four AI-based algorithms were developed using specific rules, artificial neural network (ANN), fuzzy logic (FL), and adaptive neuro fuzzy inference systems (ANFIS) for operating the heating system and the openings at building envelopes. A numerical computer simulation method incorporating the matrix laboratory (MATLAB) and the transient systems simulation (TRNSYS) software was used for the performance tests. The analysis results revealed that AI-based algorithms improved thermal environment with increased comfort and stability, in particular, the FL and ANFIS algorithms presented significant superiority. The ANN-based algorithm, instead, showed a potential to be the most energy-efficient and stable strategy. From the analysis, it can be concluded that if thermal comfort is the principal interest, then the FL or ANFIS algorithm could be applicable, or if energy efficiency of the system is the main concern, then the ANN-based algorithm may be the proper solution.

Key words : Artificial intelligence, Artificial neural network, Fuzzy logic, Adaptive neuro fuzzy inference system

1. 서 론

인공지능(artificial intelligence)은 John McCarthy에 의해 처음 제안되었으며, 지능화된 기계(intelligent machine)를 개발하기 위한 과학적 혹은 공학적 수단으로 적용되어 왔다. 인공지능이론은 다양한 방향으로 이론화 되었는데, 그 예로는 인공신경망(artificial neural network), 퍼지로지(fuzzy logic), 뉴로퍼지(adaptive neuro-fuzzy inference system), 유전자알고리즘(genetic algorithm) 등이 그 예이다.

최근 건물의 냉난방 부하, 시스템 제어를 위하여 다양한 인공지능 이론의 적용과 성능평가를 위한 시도가 진행되고 있다. 이러한 시도의 예로써 인공신경망 모델을 적용한 이중외피건물에 개구부 및 난방시스템의 통합제어를 위한 연구가 진행되고 있다[1-4]. 연구결과 인공신경망 모델을 사용한 예측 및 적응제어를 실시할 경우 보다 쾌적한 열 환경을 제공할 수 있는 것으로 나타났다.

본 연구의 목적은 기존 연구의 성과를 바탕으로 인공신경망 모델을 비롯한 퍼지로지, 뉴로퍼지 이론 등 다양한 인공지능 이론을 적용한 제어 로직을 개발하고 그 성능을 비교 분석하는 것을 목적으로 한다. 이를 통하여 보다 쾌적하고 에너지 효율적인 알고리즘 개발을 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

2. 제어알고리즘 및 적용 인공지능 모델

본 연구에서 개발된 다섯 가지의 제어알고리즘에 표 1에 정리되어 있다. 각 제어알고리즘은 MATLAB (Matrix Laboratory) 소프트웨어를 이용하여 개발되었다. 다섯 가지 알고리즘 모두 개구부의 최적 개폐를 위하여 인공신경망이 적용되었다.

난방장치의 제어를 위하여 각 알고리즘은 특정한 규칙(Rule), 인공신경망, 퍼지로지, 그리고 뉴로퍼지 이론을 적용하였으며, 특히 뉴로퍼지 이론을 적용한 경우 입력변수에 따라 두 가지 알고리즘을 제어하였다.

그림 1~3은 개발된 알고리즘의 흐름을 설명한다. 각 알고리즘은 난방장치를 제어하는 부분과 개구부를 제어하는 부분으로 구분되어 있다. 난방장치 제어를 위하여 인공신경망과 뉴로퍼지를 이용하는 알고리즘 II, IV, V는 동일한 흐름을 가지고 있으며, 단지 적용된 이론의 차이만을 가진다.

그림 4와 5는 각각 개구부 제어를 위하여 모든 알고리즘에 적용된 인공신경망 모델과 난방장치 제어를 위하여 알고리즘 II에 적용된 인공신경망 모델을 보여준다. 각 모델은 일련의 입력변수와 숨겨진층의 변수 및 출력변수 등을 이용하여 목표된 출력값을 계산하게 된다.

그림 6은 알고리즘 III에 적용된 퍼지로직의 소속함수의 구조를 보여주며, 표 2-4는 알고리즘 III과 IV, V의 if-then rule의 구성을 나타낸다.

Table 1. Five algorithms with different theories.

Algorithms	Theories	
	Heating system	Opening at envelopes
Algorithm I	Rule	ANN
Algorithm II	ANN	ANN
Algorithm III	FL	ANN
Algorithm IV	ANFIS (2 Inputs)	ANN
Algorithm V	ANFIS (1 Input)	ANN

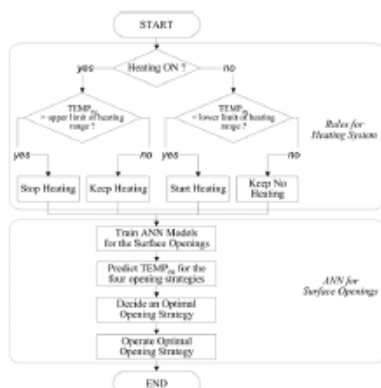


Fig. 1. Flow of Algorithm I.

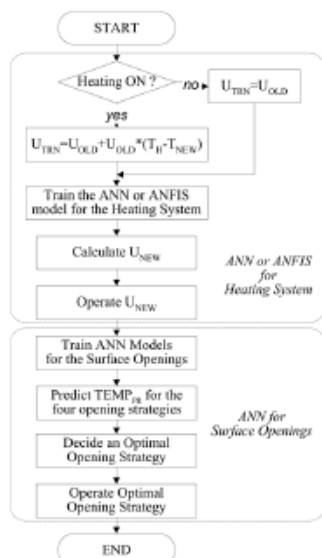


Fig. 2. Flow of Algorithms II, IV, and V.

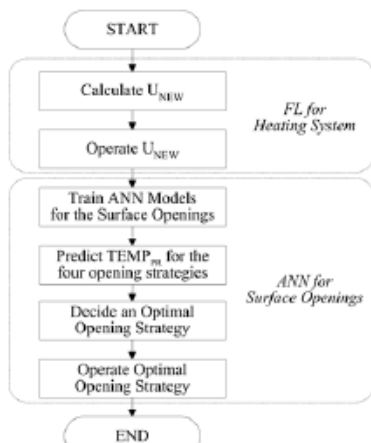


Fig. 3. Flow of Algorithm III.

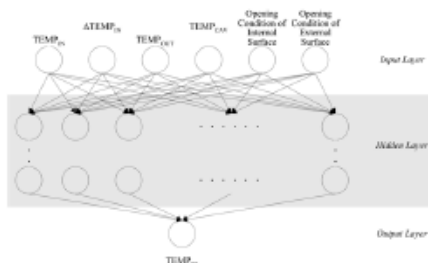


Fig. 4. ANN model for openings at envelopes.

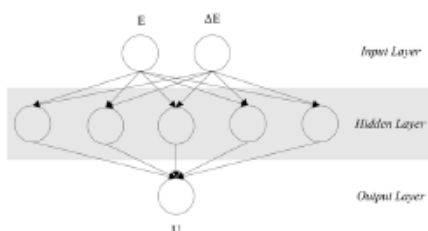


Fig. 5. ANN model for the heating system.

Table 2. If-then rules of fuzzy logic.

Inputs (if)			Outputs (then)
E		ΔE	U
Cold	And	Colder	Heating
Cold	And	Hotter	Heating
Comfortable	And	Colder	Heating
Comfortable	And	Hotter	Cooling
Hot	And	Colder	Cooling
Hot	And	Hotter	Cooling

Table 3. If-then rules of ANFIS with 2 input variables.

Inputs (if)			Outputs (then)
E		ΔE	U
Cold	And	Colder	Output membership function 1
Cold	And	Hotter	Output membership function 2
Comfortable	And	Colder	Output membership function 3
Comfortable	And	Hotter	Output membership function 4
Hot	And	Colder	Output membership function 5
Hot	And	Hotter	Output membership function 6

Table 4. If-then rules of ANFIS with 1 input variable.

Inputs (if)	Outputs (then)
E	U
Cold	Output membership function 1
Comfortable	Output membership function 2
Hot	Output membership function 3

그림 6은 개발된 로직의 적용 및 성능평가를 위하여 TRNSYS 소프트웨어를 이용한 모델링 결과를 나타낸다. 외벽, 천장, 바닥 및 내/외측 창문의 단열성능은 각각 2.78, 5.00, 2.44, 0.77, 0.18 m²K/W이며, 실내부하는 두 명의 착석인원, 두 대의 컴퓨터, 그리고 5 W/m²의 조명기기로 이루어져 있다. 실내의 환기량은 0.7ACH (air change ratio per hour)로 가정하였으며, 난방장치는 7,172 kJ/hr 용량의 복사난방 장치가 설치되었다. 서울지역으로 가정되었으며, 평가기간은 난방시즌은 11월부터 2월까지로 하였다.

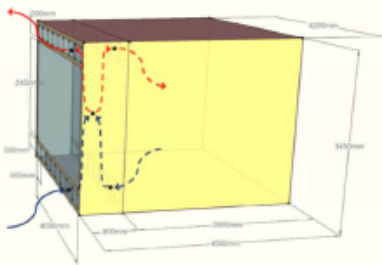


Fig. 6. A test module with a double skin envelope.

3. 결과분석 및 결론

각 제어 알고리즘의 작동 성능은 실내 열 환경 조성 결과 및 시스템의 작동 성능으로 분석되었다. 표 5는 각 제어 알고리즘에 의하여 조성된 실내 열 환경의 결과를 나타낸다. 인공지능 이론을 적용한 알고리즘 II-V의 경우 실내 온도가 다소 높게 형성되는 것으로 나타났다. 온도의 안정성 또한 감소된 표준편차로써 증명되었으며, 특히 퍼지회로와 뉴로퍼지를 적용하였을 경우 매우 안정적이므로 밝혀졌다. 폐쇄 기간 역시 이 경우 효과적으로 증가된 것으로 분석되었다.

난방시스템의 작동 결과는 표 6에 정리되어 있다. 인공지능 이론을 적용하였을 경우, 실내에 공급된 열량이 다소 증가한 것으로 드러났다. 인공지능 적용 알고리즘만을 비교하였을 경우, 인공신경망 모델을 적용한 경우가 가장 효율적인 것으로 분석되었다. 특히, 인공신경망을 적용하였을 경우 시

스템의 작동이 안정적으로 유지되었으며, 시스템의 on/off 횟수가 현저히 줄어든 것으로 밝혀졌다. 이는 장기적 관점에서 시스템의 안정적 작동에 기여할 것으로 판단된다.

특, 폐쇄성 확보가 주된 관심사일 경우 퍼지 혹은 뉴로퍼지 이론이 적절한 것으로 예상되며, 에너지 성능 및 시스템 안정성이 필요한 경우 인공신경망 모델의 적용이 고려되어야 할 것으로 판단된다.

Table 5. Indoor temperature conditions.

Analysis components	Algorithms					
	I	II	III	IV	V	
Average indoor temperature, °C	21.53	21.95	21.80	21.83	21.83	
Average cavity temperature, °C	6.67	6.71	6.70	6.70	6.70	
Standard deviation of indoor temperature, °C	1.284	1.108	0.741	0.781	0.769	
Period (%)	Cold	2.90	0.88	0.00	0.00	0.00
	Comfortable	85.85	83.68	88.77	88.46	88.58
	Hot	11.25	15.44	11.23	11.54	11.42

Table 6. Heating system operation.

Analysis components	Algorithms				
	I	II	III	IV	V
Amount of heat supply, kWh	1537.28	1598.31	1666.68	1713.85	1790.17
Average operating ratio	0.214	0.222	0.231	0.238	0.249
Standard deviation of operating ratio	0.168	0.033	0.048	0.082	0.101
Number of on/off	15046	182	14824	34032	35922

후 기

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

인용문헌

- [1] J.W. Moon, S. Yoon, and S. Kim, 2013, Development of an artificial neural network model based thermal control logic for double skin envelopes in winter, Building and Environment, Vol. 61, pp. 149-159.
- [2] J.W. Moon, K. Chin, and S. Kim, 2013, Optimum Application of Thermal Factors to Artificial Neural Network Models for Improvement of Control Performance in Double Skin-Enveloped Buildings, Energies, Vol. 6, pp. 4223-4245.
- [3] J.W. Moon, J. Lee, J.D. Chang, and S. Kim, 2014, Preliminary performance tests on artificial neural network models for opening strategies of double skin envelopes in winter, Energy and Buildings, Vol. 75, pp. 301-311
- [4] J.W. Moon, J. Lee, and S. Kim, 2014, Evaluation of Artificial Neural Network-Based Temperature Control for Optimum Operation of Buildings Envelopes, Energies, Vol. 7, pp. 7245-7265.