

건물 환경제어를 위한 인공지능 이론 적용 및 연구

○ **문진우** | 중앙대학교 건축학부
부교수
E-Mail : gilbert73@cau.ac.kr

강인성 | 중앙대학교 건축공학과
연구원
E-Mail : suuung222@nate.com

1. 서론

최근 전 세계적으로 에너지 과소비 및 온실가스 등으로 인한 환경 문제가 대두되고 있다. 우리나라는 제 21차 기후변화당사국 총회에서 2030년까지 온실가스 배출전망치(BAU) 대비 37% 감축목표를 UN에 제출하였으며, 감축목표 37% 중 11.3%는 해외에서 배출권을 구매하여 달성하기로 하였다.[1] 이에 따라 건물에서 사용되는 에너지 소비 및 온실가스 감축을 위하여 보다 진보된 건물 환경 제어법의 필요성이 대두되고 있다. 인공지능(AI, Artificial Intelligence)은 ICT(Information and Communications Technologies)산업의 발달과 더불어 관심이 집중되고 있으며 새로운 산업을 이끌어갈 미래의 성장동력으로 부상하고 있다. 인공지능 기술은 현재의 컴퓨팅시스템 성능한계를 극복하고, 자율주행 자동차, 무인항공기(Drone), 사물인터넷(Internet of Things), 지능형 로봇, 지식서비스(검색, 광고, 미디어, 법률, 금융, 교육, 유통 등), 헬스케어 등 기술발전·적용산업을 견인하는 강력한 기술로 평가받고 있다.[2]

1956년 Dartmouth College에서 열린 학술회의에서 John McCarthy, Marvin Minsky, Herbert Simon, Allan Newell이 인간의 지능이 컴퓨터 프로그램으

로 구현될 수 있다는 것을 발표함으로써 ‘인공지능’이 처음으로 제안되었다. 이러한 인공지능의 주된 목표는 인간과 같은 방식으로 사고 및 처리가 가능한 지능화된 컴퓨터 프로그램을 개발하는 것이다. 다음은 인공지능에 대하여 주요 연구자 및 기관에서 정의한 것이다.

- John McCarthy[3] : 지능적인 기계를 만드는 엔지니어링 및 과학
- Nils J.Nilsson[4] : 인공지능은 기계가 주변 환경을 인지·판단·예측해 상황에 적절하게 대응하도록 지능을 부여하는 활동
- Eugene Charniak[5] : 여러 계산모델을 이용하여 정신적 기능을 연구하는 학문
- Patrick Henry Winston[6] : 컴퓨터가 지능을 가질 수 있도록 하는 아이디어를 연구하는 학문
- Marvin Minsky[7] : 인간의 지능을 필요로 하는 작업을 처리할 수 있는 기계를 만드는 학문
- Rob Callan[8] : 인간의 지능적 측면 즉, 기계가 잘할 수 있는 계산 뿐 아니라 추론, 인식, 지각과 같은 것을 모의 실험할 수 있는 기계 알고리즘을 만드는 학문
- Gartner[9] : 특별한 임무수행에 대하여 인간을 대체, 인지능력 제고, 의사소통 통합, 복잡한 콘

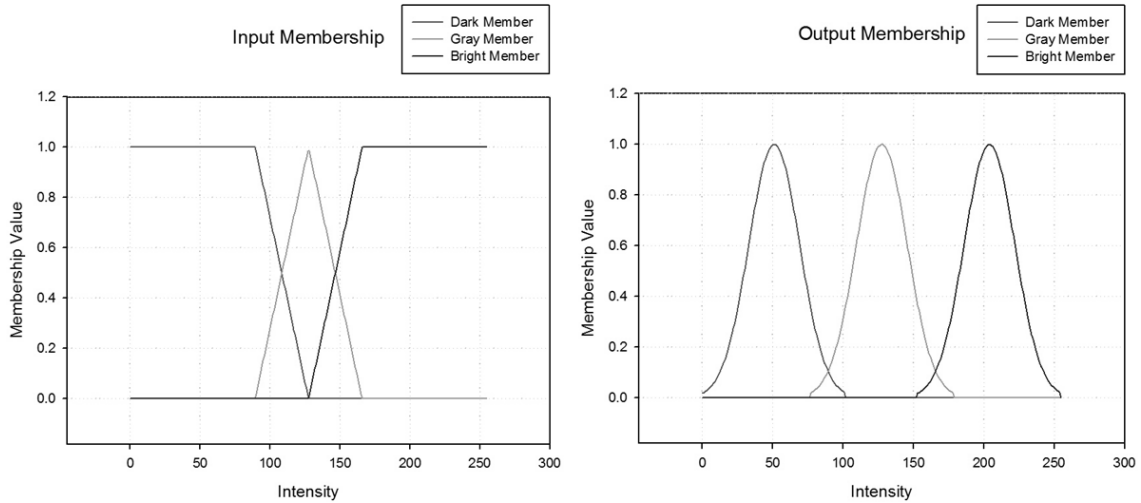


그림 1. 퍼지의 예, 입력단계 소속함수 (왼쪽), 출력단계 소속함수(오른쪽)>

텐츠 이해, 결론 도출과정 등 컴퓨터가 인간의 수행능력을 모방하는 기술

- Technavio[10] : 스마트 기기는 인지 컴퓨팅 능력(인공지능과 기계학습 알고리즘이 적용된)이 포함된 기기

인공지능 이론은 비선형시스템(non-linear systems) 혹은 불명확한 역학을 가진 시스템(systems with unclear dynamics)에 효과적으로 대처할 수 있는 장점을 바탕으로 개선된 열 환경 조절을 위한 방법으로 연구되어지고 있다.

이들 중 본 고에서는 건축환경 제어분야로의 도입을 위하여 주로 연구되는 퍼지(Fuzzy Logic, FL), 인공신경망(Artificial Neural Network, ANN), 뉴로 퍼지(Adaptive Neuro Fuzzy Inference Systems, ANFIS) 등을 소개하고자 한다.

1.1 퍼지 이론(Fuzzy Logic, FL)

퍼지 이론은 0과 1사이의 현상에 대한 사실(truth)의 정도를 고려하여 문제 해결방안을 결정하는 접근법이다. 즉, 정확하고 noise-free한 입력값을

요구하지 않으며 시스템 동적현상에 대한 복잡한 이론을 필요로 하지 않으므로 기존의 수학적 모델에 비하여 문제해결을 간단히 진행할 수 있는 장점이 있다. 퍼지 모델은 입력단계(fuzzification), 진행단계(inferencing), 그리고 출력단계(defuzzification)로 구성되어있으며, 마지막 출력단계에선 언어적 법칙(linguistic rules)에 의하여 특정한 출력값으로 변환되게 되며, 이러한 출력값을 이용하여 문제해결을 진행하게 된다[그림 1].[11]

건축 분야에서는 HVAC 시스템의 최적제어를 위한 퍼지 이론 적용법이 다양하게 연구되어지고 있으며, 현재 실내온도와 최적온도와의 차이, 실내온도의 변화량 등을 입력변수로 사용한 최적의 작동비를 도출하는 모델은 그 한 예로 볼 수 있다.

최근에 제시된 퍼지기반 PMV (predicted mean vote) 제어법은 실내 온도 및 습도환경의 최적화 뿐 아니라 건물 에너지 성능 향상에도 효과가 있는 것으로 밝혀졌다. 또한, 인공신경망 모델 등과의 통합적 접근을 바탕으로 진보된 열 환경 시스템 제어법이 제시되고 있으며, 빛 환경, 공기 환경 분야로의 적용이 시도되고 있다.[11]

1.2 인공신경망(Artificial Neural Network, ANN)

Warren McCulloch와 Walter Pitts에 의해 제안된 인공신경망은 인간의 신경전달구조를 모방하여 적응성(Adaptive)과 학습과정(Learning Process)의 특징을 지니고 있다. [그림 2]는 인공신경망의 기본 구조를 나타내고 있으며, 입력층(input layer), 은닉층(hidden layer), 그리고 출력층(output layer)으로 구성된다. 인공신경망의 구성원인 뉴런(neuron)들 간의 연계성(connectivity)과 전이함수(transfer function)의 작용으로 결과값을 계산하며, 지속적 자가학습과정(a self-tuning process)을 바탕으로 외부의 변화에 대한 적응성(adaptability)을 가지게 된다. 적절히 구성되고 학습된 신경망 모델은 PID (Proportional Integral Derivative) 컨트롤러나 Regression 모델과 같은 수학적 모델보다 정확한 예측(prediction)을 할 수 있는 것으로 밝혀지고 있다.[12]

이러한 예측성 및 적응성을 바탕으로 냉난방부하 및 건물에너지 예측에 성공적으로 적용되어지고 있으며, 최근에는 건물 실내 열 환경 조절분야에 대한 활발한 연구가 진행 중이다. 주요 연구의 동향은 2장에서 다룬다.

1.3 뉴로퍼지(Adaptive Neuro Fuzzy Inference Systems, ANFIS)

뉴로퍼지는 0과 1사이의 진실의 정도를 판단의 근거로 사용하는 퍼지이론에서 발전되었다. 퍼지이론의 경우 최적의 퍼지룰(Fuzzy rules)과 소속함수(membership functions) 등을 구성함에 있어 직관성이 관여되어야 하는 단점에 의해 특정 환경에서 성공적으로 작동했던 모델이 다른 환경에서 같은 성능으로 작동되지 않을 가능성이 존재한다. 즉, 퍼지 이론은 적응성(adaptability)면에서 보완되어야

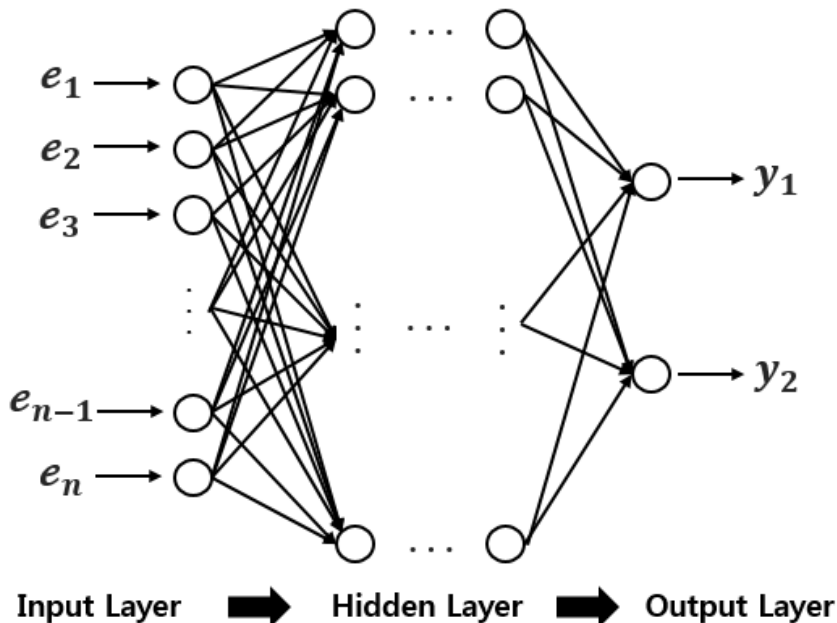


그림 2. 인공신경망 구조

할 필요성이 있으며, 이를 위해 퍼지이론과 인공지능망의 성질을 결합한 뉴로퍼지 방법이 개발되었다. ANFIS(Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System) 방법은 뉴로퍼지 방법 중 한 종류로써, 변화하는 입/출력 값에 대하여 Neuro-adaptive 학습법을 이용하여 소속함수상의 매개변수를 조정한다. 이러한 반복되는 조정과정(tuning process)을 통하여 특정한 상황이 아닌 변화하는 배경에 대하여 최적의 결과를 도출할 수 있도록 스스로 변화하게 되며, 이는 개발된 모델에 일반성을 부여하는 의미를 가진다.

최근 ANFIS를 이용한 열 환경 예측분야에 대한 연구가 진행되어, 지열히트펌프(ground source heat pump)의 성적계수(COP: Coefficient of Performance) 예측, 태양열 취득량, 에너지 사용량, 외기온도, 실내외 건물 표면 온도, 시간 등의 입력변수를 적용한 실내온도의 예측 등이 그 예라 할 수 있다. 또한 열 환경 조절을 위하여 인공지능망과 ANFIS 방법을 각각 적용한 증발식응축기(evaporative condenser)의 비교성능평가를 통해 뉴로퍼지 방법의 우수성을 밝혀냈으며, ANFIS를 이용한 공조기내 댐퍼의 개폐정도, 팬의 회전속도 등에 관한 연구가 진행되었다.[12]

2. 인공지능 기반 건물 환경제어 연구 동향 및 사례

강인성(2016) 등은[13] 2000년부터 2016년까지 ‘인공지능’, ‘인공신경망’을 키워드로 하는 건축분야 국내논문 약 33편을 분석하였다. 분석 결과, 인공지능 기반 건물 환경 관련 논문이 15편으로 전체 대비 약 45.5%를 차지해 가장 큰 비중을 나타냈다. 이어서 건축 재료(18.2%), 구조(12.1%), 시공(12.1%), 계획(9.1%), 기타(3.0%) 분야 순으로 나타났다.

같은 기간 국외에서 연구된 건축분야의 인공지능 활용 논문은 총 295편이며 이 중 건축 환경설비 분야가 약 70%로 가장 높았다. 국내의 결과와 마찬가지로 환경·설비분야에서 인공지능을 활용한 연구가 활발히 진행되고 있음을 알 수 있다. 세부적으로 건물에너지 분야가 21.7%로 가장 많았고, 다음으로 공조시스템 분야가 14.2%, 기후 환경 분야가 10.5%, 신재생 분야가 9.8% 등으로 나타났다.

[그림 3]은 국내·외 건축분야 인공지능 연구 중 건물 환경제어에 관한 연구동향을 나타내고 있으며 분석 결과는 다음과 같다. 인공지능건축에 관한 전체 국내 논문 편수는 국외 논문에 비해 10%정도로 미미

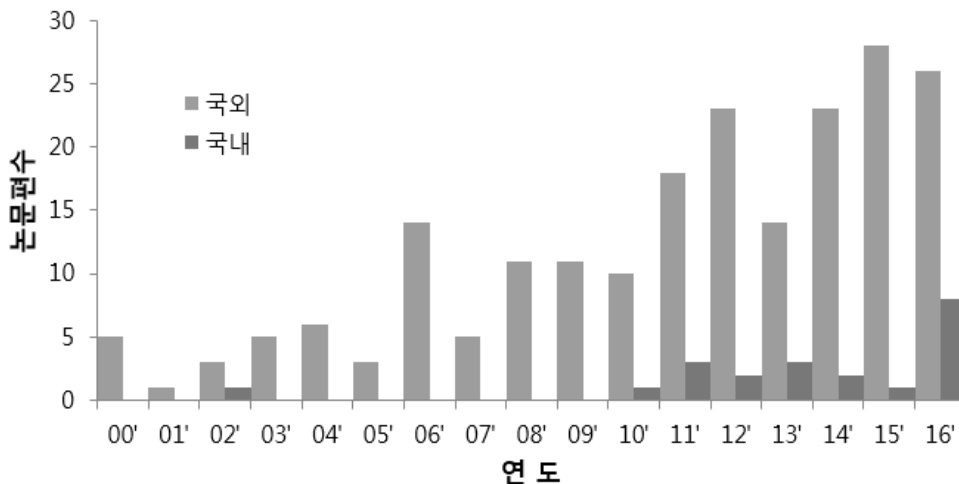


그림 3. 국내·외 인공지능 기반 건축환경제어 연구동향

하지만, 최근 국내에서도 인공지능 기반 건물 환경제어 연구가 활발하게 진행되는 것으로 분석되었다.

건축분야에서의 인공지능은 디자인 과정에서 새로운 설계방법론을 제시하거나 구조물의 손상위치를 파악, 콘크리트의 강도를 추정하는 등 건축의 각 세부 전공을 막론하고 다양한 접근과 활용이 이루어지고 있다. 강인성(2016) 등에 의하면, 인공지능의 적용은 환경설비 분야의 연구가 가장 활발하게 이루어지고 있으며, 주로 건물 에너지 최적화 및 공조 시스템 제어에 활용되어 쾌적한 건물 환경 조성을 위한 기술로 사용되는 것으로 분석되었다. 이는 기존의 건물 환경제어 기술보다 진보된 제어방법이며, 특히 온열환경 예측을 바탕으로 공조시스템의 최적운전 관점에서 연구가 활발하게 진행되고 있다. 아래는 국내·외의 인공지능 기반 건물 환경제어의 주요 연구사례가 정리되어 있다.

2.1 국내 인공지능 기반 건물 환경제어 주요 연구

몬테카를로 시뮬레이션과 인공 신경망을 이용한 건물 에너지 성능 프로파일링-김영민(2016) : 몬테카를로 샘플링과 EnergyPlus 시뮬레이션 결과를 데이터로 활용하여, 월간 사용원/열원별 에너지 사용량을 예측하는 인공 신경망 모델을 구축[14]

건물 시스템에 관한 온라인 모델과 오프라인 모델의 비교-추한경(2016) : 공조시스템 성능을 예측하기 위한 기계학습 방법 중 온라인 모델과 오프라인 모델 비교[15]

기존 건물 HVAC 시스템의 기계학습 모델 개발 및 비교-라선중(2016) : 기존 건물의 HVAC 시스템에 기계학습 방법을 이용하여 에너지 해석 및 예측을 통해 미래 에너지 수요에 대응[16]

기존 건축물의 빙축열 시스템 최적 제어를 위한 기계학습 모델-신한솔 (2016) : 서울에 위치한 업무 시설 건물에 대하여 축열조의 익일 방냉량 예측 모델 개발[17]

공조설비 지능형 최적 기동/정지 제어-박대흠 (2013) : 다양한 건물에 적용가능한 난방설비의 최적 기동/ 정지시각 결정을 위한 최적화된 신경망모델을 개발[18]

패턴 서치 알고리즘과 유전자 알고리즘을 이용한 이중외피 시스템의 최적제어-김영진(2011) : 규칙중심 제어, 학술적 접근 방법인 구매법, 소모적 탐색법, 패턴 서치 알고리즘, 유전자 알고리즘을 이용하여, 이중외피 시스템의 제어전략 비교[19]

원심압축기 최적화를 위한 연구-최형준(2010) : 기존의 임펠러에 대한 수치데이터를 바탕으로 원심압축기의 임펠러를 최적화하기 위한 인공신경망 모델 개발[20]

공조설비 최적운전을 위한 신경망 모델의 적용에 관한 연구-양인호(1997) : 에너지 시뮬레이션과 인공신경망을 통해 공조시스템의 최적 기동시각을 결정하는 신경망 모델 개발[21]

2.2 국외 인공지능 기반 건물 환경제어 주요 연구

Forecasting diurnal cooling energy load for institutional buildings using Artificial Neural Networks-Chirag Deba(2016) : 인공신경망을 이용하여 기관 건물의 냉방부하를 예측[22]

Energy consumption prediction of office buildings based on echo state networks-Guang Shi(2016) : 오피스 건물의 에너지 소비량을 예측하기 위한 Echo State Networks(ESNs) 기반 신경망 모델 개발[23]

Deep learning for estimating building energy consumption-Elena Mocanu(2016) : 건물 에너지소비량을 예측하기 위한 신경망 모델, 볼츠만 기계학습, SVR 등 여러 가지 기법을 비교하여 최적 모델 연구[24]

Application of artificial neural network for predicting hourly indoor air temperature and relative

humidity in modern building in humid region-Leopold Mbaa(2016) : 건물 에너지소비를 절감하기 위하여 온도 및 습도를 예측하는 인공신경망 모델 개발[25]

Artificial neural networks forecasting of PM2.5 pollution using air mass trajectory based geographic model and wavelet transformation-Xiao Feng(2015) : 인공신경망과 기단 궤적분석법을 결합하여 대기 질의 PM2.5를 예측하는 모델 개발[26]

Thermal comfort evaluation within non-residential environments:development of Artificial Neural Network by using the adaptive approach data-C. Buratti(2015) : 인공신경망을 이용하여 PMV 계산을 위한 새로운 알고리즘 개발[27]

The artificial neural network for solar radiation prediction and designing solar systems-Atika Qazi(2015) : 인공신경망을 이용하여 일사를 예측하는 시스템에 대한 분석 및 문헌고찰 연구[28]

Modeling heating and cooling loads by artificial intelligence for energy-efficient building design-Jui-Sheng Chou(2014) : 건물의 냉난방 부하를 예측하기 위한 인공지능 기법인 인공신경망, SVR, CART, CHAID, GLR을 비교한 최적 모델 연구[29]

Neural Network based HVAC Predictive Control-António E Ruano(2014) : 인공신경망을 이용하여 공조시스템 제어를 통해 실내 온열쾌적감을 예측하는 연구[30]

MPPT-based artificial intelligence techniques for photovoltaic systems and its implementation into field programmable gate array chips-Adel Mellit(2014) : 태양광발전시스템의 최적운전을 위한 인공지능기법 적용 연구[31]

Energy analysis of a building using artificial neural network-Rajesh Kumar(2013) : 인공신경망을 이용하여 건물에서의 에너지 소비를 예측하는 모델에 대하여 분석[32]

3. 심층 연구 사례

중앙대학교 친환경건축센터에서는 쾌적하고 에너지 효율적인 건물 실내환경 조성 및 시스템 제어를 위하여 인공지능 이론을 적용한 다양한 연구를 진행하였다. 주된 연구 주제를 정리하면 다음과 같다.

- 실내 온도/습도/PMV over- and undershoots 최소화 방안
- 호텔 객실의 최적 셋백 시작 시점 및 에너지 성능에 기반한 최적 셋백온도 설정
- 주거건물의 최적 셋백 시작 및 종료 시점 설정
- HVAC의 에너지 성능 향상을 위한 최적의 시스템 작동 요소 설정(급기온도, 냉매증발온도, 냉각수온도, 냉각수 유량 산정)
- 이중외피 개구부의 최적 개방상태 산정 및 난방 시스템과의 통합제어 방안

이러한 연구들 중 본 고에서는 이중외피 건물의 쾌적하고 에너지효율적인 실내열환경 제공을 위하여 개구부 및 난방시스템의 최적 작동을 목적으로 인공지능이론이 접목된 알고리즘을 개발한 연구를 소개하고자 한다. 연구에서는 퍼지로지, 인공신경망, 그리고 뉴로퍼지 이론을 적용한 알고리즘의 개발 및 성능분석이 실시되었다.

3.1 연구 배경 및 목적

최근 실내측 외피, 실외측 외피, 중공층, 개구부 및 차양 장치로 이루어진 이중외피(double skin façade) 건물의 적용이 증가되고 있다. 이중외피는 경량 구조체를 적용할 수 있다는 우수성 외에도 실내 환경의 효율적 개선이라는 장점을 가지고 있다. 예를 들어 실내외측 혹은 중공층에 설치된 차양 장치는 실내로 유입되는 태양복사량을 적절히 제어함으로써 재실자에게 보다 쾌적한 시각적 혹은 열적 환경을 제공할 수 있다. 또한, 실내외측 외피에 적용되어 있는 개구부의 적절한 개폐를 통해 신선한 외기의 도

입과 쾌적한 실내 열 환경 조성이 가능하다.[11]

또한, 이중외피는 건물의 쾌적한 실내 열 환경 조성을 위하여 소비되는 냉난방에너지를 줄이는데 효과적인 것으로 알려져 있다. 중공층에 조성된 열적 완충공간(thermal buffer zone)은 전도 및 침기 등 건물 외피를 통한 열전달량을 현저히 감소시킬 수 있으며 개구부 등 외피와 관련된 요소들의 적절한 제어를 바탕으로 겨울철 중공층에 축적된 태양에너지를 실내로 도입함으로써 난방에너지의 감소가 가능하다.[11]

겨울철 중공층에 축적된 에너지의 도입을 위하여 일반적으로 적용되는 방법은 규칙기반제어법이다. 규칙기반제어는 특정한 규칙을 적용하여 개구부의 개폐여부를 결정한다. 예를 들어, 겨울철 중공층의 온도가 일정온도이상 유지될 경우 실내측 개구부를 개방하여 따듯한 공기를 유입한다. 규칙기반 제어법은 개발 및 적용이 단순하다는 장점이 있다. 하지만, 적용된 규칙이 직관에 바탕을 둔다는 점에서 최적의 제어법이 아닐 수 있다는 한계점이 있다.

최근 중앙대학교 친환경건축연구센터에서는 이중외피건물의 개선된 실내 열 환경을 제공하고 난방 에너지 감소 효과를 확보함으로써 건물의 친환경성을 개선하는 것을 목적으로 건물의 개구부와 난방시스템의 최적 통합제어를 위한 연구가 진행되었다.[33] 이를 위하여 퍼지로지(FI), 인공지능망(ANN), 그리고 뉴로퍼지(ANFIS) 모델을 개발하고, 개발된 모델을 내포하는 최적 알고리즘을 제안하였다.

3.2 인공지능 모델 및 제어알고리즘

개발된 다섯 가지의 제어알고리즘은 [표 1]에 정리되어 있으며, 각 알고리즘은 난방시스템의 제어하는 모델과 개구부를 제어하는 모델을 내포한다. 개구부의 최적 개폐를 위하여 인공지능망모델이 공통적으로 적용되었으며, 난방시스템 제어를 위하여 기존의 규칙, 퍼지, 인공지능망, 뉴러퍼지 모델이 각각 적용되었다. 특히, 뉴로퍼지 모델은 입력변수

의 종류에 따라 두 가지로 개발되었다.

표 1. 인공지능이론 기반 이중외피 개구부 및 난방 시스템 제어 알고리즘

알고리즘	적용 인공지능 이론	
	난방시스템	개구부
알고리즘 I	Rule	ANN
알고리즘 II	FL	ANN
알고리즘 III	ANN	ANN
알고리즘 IV	ANFIS (2 Inputs)	ANN
알고리즘 V	ANFIS (1 Input)	ANN

그림 4는 난방시스템의 제어를 위하여 기존의 규칙이 적용된 첫 번째 알고리즘의 흐름을 보여준다. 난방시스템의 특정하게 규정된 범위에 따라 작동하게 된다. 예를 들어 20~23°의 쾌적 실내온도를 목적으로 하면, 그에 상응하도록 two-position on/off 작동을 실시하게 된다.

반면, 개구부의 개폐 여부는 인공지능망 모델에서 예측된 결과값에 의하여 결정된다. 인공지능망 모델은 실내/외측 개구부의 개방상태에 따른 미래의 실내온도를 예측한다. 예측된 온도는 제어 알고리즘에서 최적의 개방 상태를 결정하기 위하여 사용된다. 즉, 신경망 모델은 표 2에 정리된 네 가지의 개방 조건에 대하여 미래의 온도를 각각 예측하며, 제어 알고리즘은 네 가지의 결과를 비교하여 실내 열 환경 조건에 최적으로 작동할 수 있는 개방 조건을 선택하여 작동하게 된다.

예를 들어 각 개방 조건에 대한 신경망 모델의 예측 결과 1~4까지의 조건에 대하여 각각 2.0°C, 1.5°C, 0.1°C, 그리고 -3.0°C로 예측되었을 경우, 겨울철 실내 열 환경 조성 및 난방 에너지 효율 향상을 위하여 첫 번째 개방 조건(내, 외측 외피 모두 폐쇄)이 적용된다.

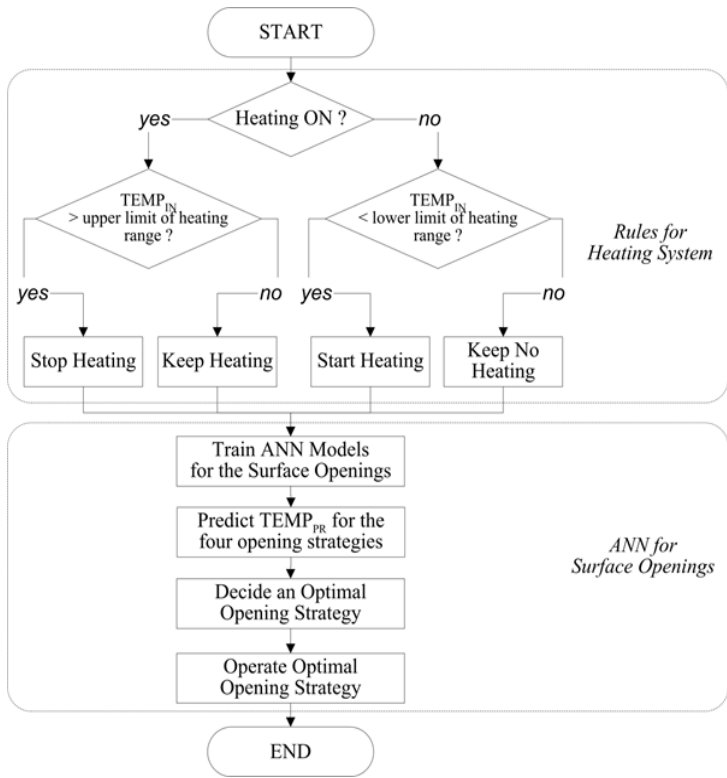


그림 4. 알고리즘 I

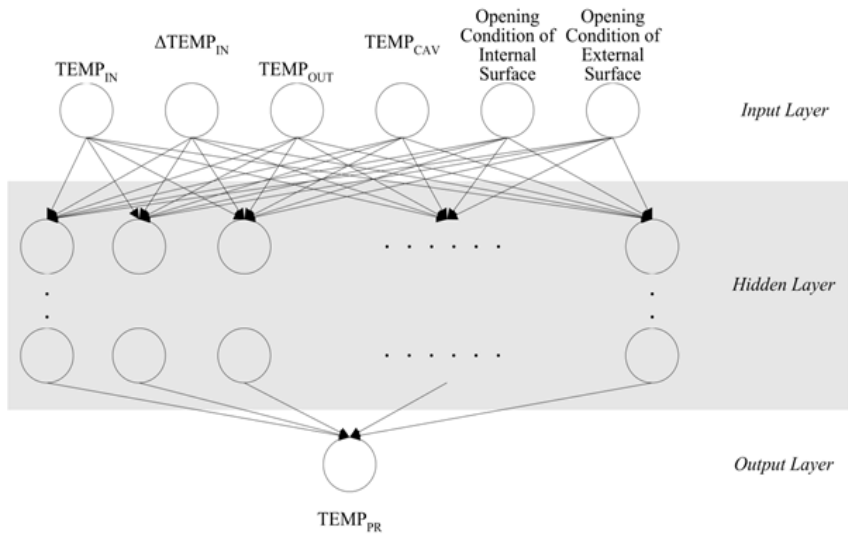


그림 5. 개구부 개방조건에 따른 실내온도예측 인공신경망모델

표 2. 개구부 개방 조건

개방 조건	내측 외피	외측 외피
1	Closed	Closed
2	Closed	Opened
3	Opened	Closed
4	Opened	Opened

그림 5는 이중외피 개구부의 최적 작동을 위하여 개발된 인공지능망 모델의 기본적 구조를 보여준다. 본 모델의 목적은 일련의 입력변수로 선정된 조건들에 의한 다음 제어사이클까지의 실내온도 변화량을 예측하는 것이다. 모델은 6개의 입력뉴런(input neuron), 4층의 숨겨진 층(hidden layer), 10개의 숨겨진 뉴런(hidden neuron)과 1개의 출력뉴런(output neuron)으로 구성되어 있다.

입력뉴런은 현재실내온도(TEMPIN), 지난 제어 사이클로부터의 실내온도변화량(TEMPIN), 외기 온도(TEMPOUT), 중공층온도(TEMPCAV), 내측 외피 개방 상태(0 혹은 1), 그리고 외측 외피 개방 상태(0 혹은 1)로 이루어져 있으며 출력뉴런은 다음 제어 사이클까지의 온도(TEMPPR)이다.

숨겨진층 뉴런과 출력층 뉴런의 전이함수(transfer functions)로써 Tangent Sigmoid와 Pure Linear 방법이 각각 적용되었다.

그림 6은 난방시스템의 작동을 위하여 퍼지로지

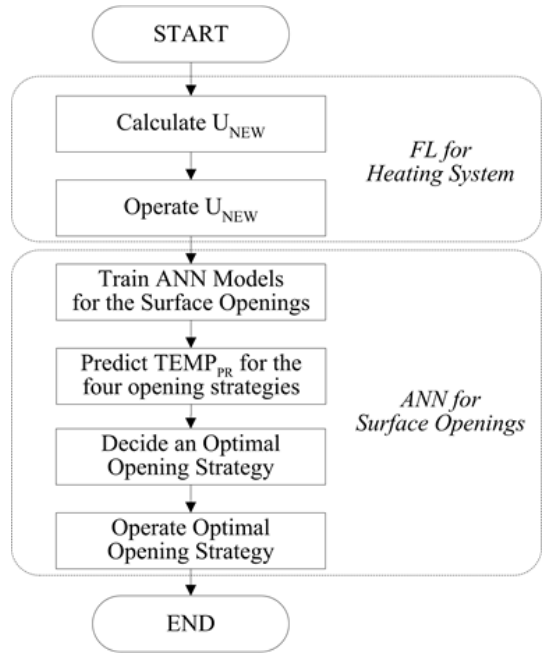
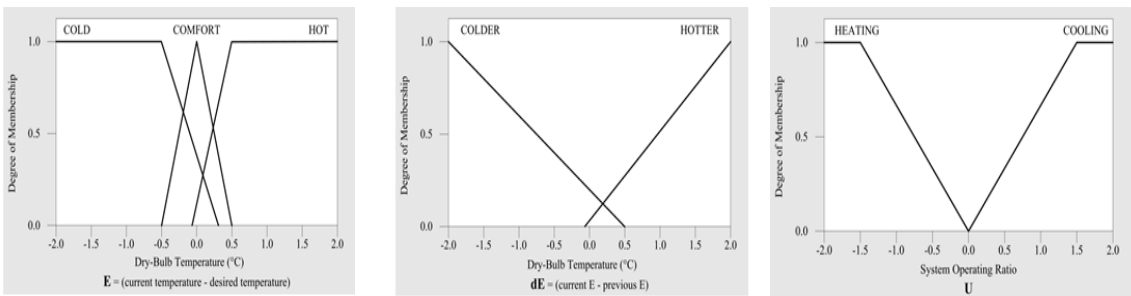


그림 6. 알고리즘 II

이 적용된 알고리즘의 흐름을 보여준다. 이 알고리즘에서는 개구부 작동을 위하여 동일한 인공지능망 모델이 적용되었다.

그림 7은 적용된 퍼지모델의 구조를 보여준다. 적용된 모델의 목적은 난방시스템의 작동비(U)를 계산하기 위한 것으로 결과값은 0~1사이를 가지게



Membership function plots of E (1st input)

Membership function plots of dE (2nd input)

그림 7. FL 입력단계 소속함수(좌, 가운데) 및 출력단계 소속함수(우)

된다. 입력변수는 ENEW(현재온도와 난방시스템 설정온도와의 차이) 및 dENEW(지난 제어 사이클 동안 E값의 변화량)의 두 가지로 구성되었으며 출력변수는 작동비(U)로 구성되었다. 표 3은 입력변수로부터 출력값을 도출하기 위해 사용되는 언어적 규칙(linguistic rules)을 나타내고 있다. 각 모델은 일련의 입력변수와 숨겨진 층의 변수 및 출력변수 등을 이용하여 목표된 출력값을 계산하게 된다.

표 3. FL의 If-then rules

입력변수 (if)			출력변수 (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

그림 8은 난방시스템 제어를 위하여 인공지능망 및 뉴러퍼지 모델이 적용된 알고리즘 III, IV, V의 흐름을 보여준다. 또한, 그림 8은 적용된 인공지능망모델의 구조를 나타낸다. 신경망모델은 각 하나의 입력층, 숨겨진층, 출력층으로 구성되어있으며, 입력층에는 두 개의 뉴런이 포함되며 각각 셋팅온도와의 차이(E)와 이전 제어사이클 이후 E의 변화(ΔE)이다. 숨겨진층은 다섯 개의 뉴런으로 구성되며 출력층은 작동비(U)로 구성된다. 첫 번째 모델가 동일하게 숨겨진층 뉴런과 출력층 뉴런의 전이함수(transfer functions)로써 Tangent Sigmoid와 Pure Linear 방법이 각각 적용되었다.

표 4와 5에는 난방 시스템 제어를 위하여 개발된 두 개의 뉴러퍼지 모델의 소속함수와 규칙이 정리되어 있다. 첫 번째 뉴러퍼지 모델은 인공지능망 모델과 동일하게 가변 출력변수(U)를 계산하기 위하여 E와 dE를 입력 변수로 설정했으며, 두 번째 모델은 E 값만을 입력 변수로 설정하였다. 개발된 모델들은 신경망 모델과 동일한 과정으로 지속적 학

습을 통하여 적응제어가 가능하도록 계획되었다.

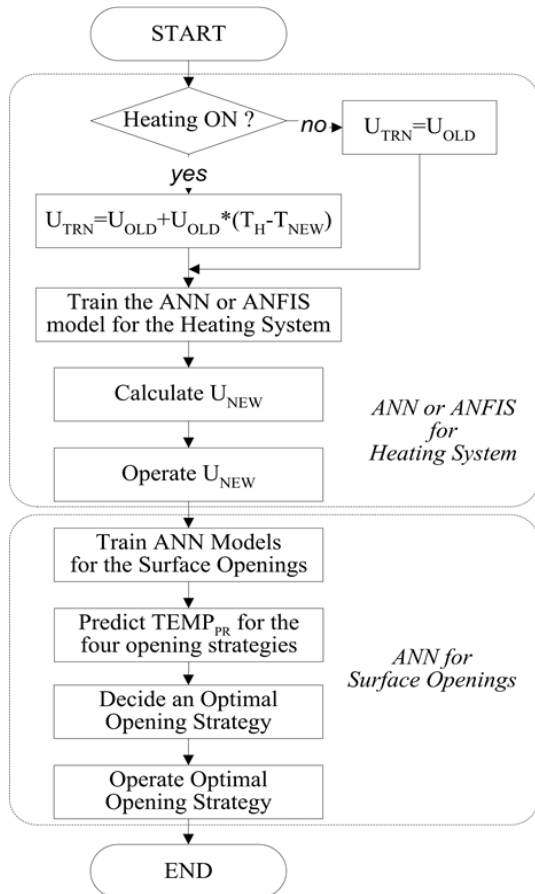


그림 8. 알고리즘 III, IV, V

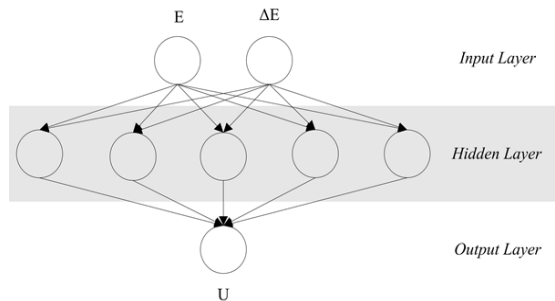


그림 9. 난방시스템 작동 결정을 위한 ANN 모델

표 4. ANFIS (2 inputs)의 If-then rules

입력변수 (if)		출력변수 (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

표 5. ANFIS (1 input)의 If-then rules

입력변수 (if)	출력변수 (then)
E	U
Cold	Output membership function 1
Comfortable	Output membership function 2
Hot	Output membership function 3

[그림 10]은 개발된 알고리즘의 성능평가를 위한 테스트모듈을 보여준다. 테스트를 위하여 TRNSYS 16.1 소프트웨어를 이용하였다. 외벽, 천장, 바닥 및 내/외측 창 의 단열성능은 각각 2.78, 5.00, 2.44,

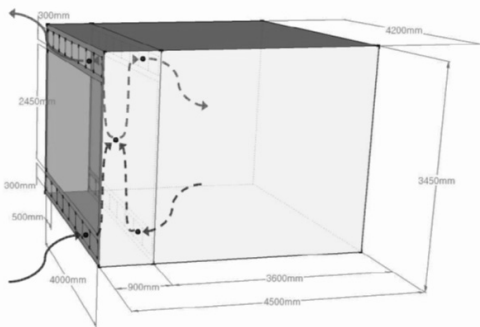


그림 10. 테스트 모듈

0.77, 0.18 m²K/W이며, 실내부하는 두 명의 착석 인원, 두 대의 컴퓨터, 그리고 5 W/m²의 조명기기로 이루어져 있다. 실내외 환기량은 0.7ACH (air change ratio per hour)로 가정하였으며, 난방장치는 7,172 kJ/hr 용량의 복사난방 장치가 설치되었다. 서울지역으로 가정되었으며, 평가기간은 난방시즌인 11월부터 2월까지로 하였다.

3.3 결과분석 및 결론

각 제어 알고리즘의 작동 성능은 실내 열 환경 조성 결과 및 시스템의 작동 성능으로 분석되었다. 그림 11은 개발된 다섯 가지의 모델과 알고리즘이 적용된 결과를 보여준다. 모든 알고리즘에 있어서 분석 기간 중 실내외측 개구부 모두 폐쇄되어 있는 것으로 나타났다. 이는 개구부 작동을 위한 인공신경망 모델에 의한 계산결과에 따른 것으로 모두 폐쇄되어 있는 경우가 실내온도환경 조절을 위하여 유리한 것으로 판단되었기 때문이다.

표 8은 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 표준편차 또한 감소함으로써 실내온도가 안정적으로 유지되고 있음이 증명되었으며, 특히 퍼지로지카와 뉴로퍼지를 적용하였을 경우 매우 안정적인 것으로 밝혀졌다. 쾌적기간 역시 이 경우 효과적으로 증가된 것으로 분석되었다.

난방시스템의 작동 결과는 표 9에 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 시스템의 작동이 안정적으로 유지되었으며, 시스템의 on/off 횟수가 현저히 줄어든 것으로 밝혀졌다. 이는 장기적 관점에서 시스템의 안정적 작동에 기여할 것으로 판단된다.

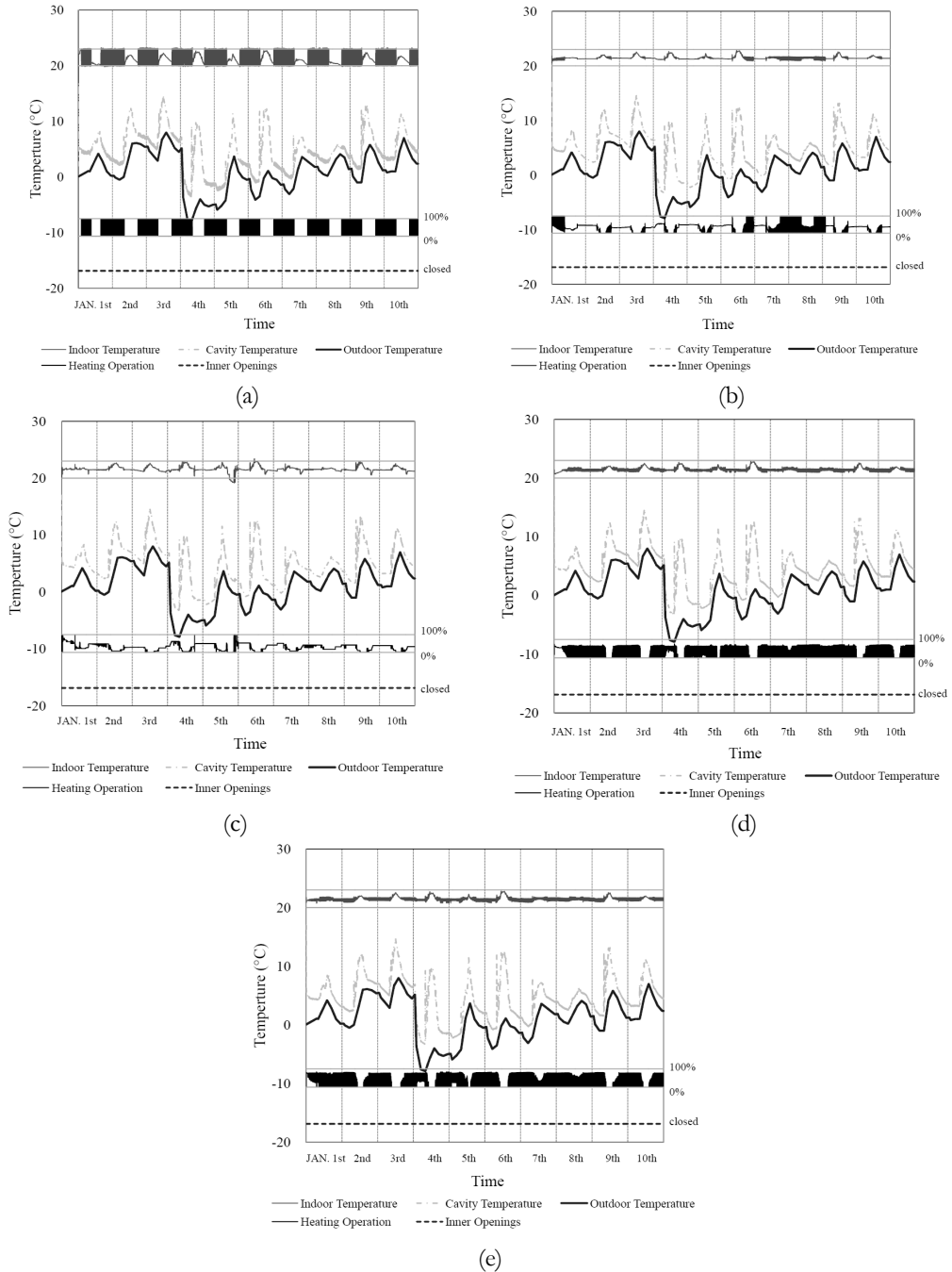


그림 11. 개구부, 난방시스템 작동 및 실내온도, (a) 알고리즘 1, (b) 알고리즘 2, (c) 알고리즘 3, (d) 알고리즘 4, (e) 알고리즘 5

표 8. 실내온도 조성결과

분 석 요 소		알 고 리 즘				
		I	II	III	IV	V
실내 평균온도 (°C)		21.53	21.80	21.95	21.83	21.83
중공층 평균온도 (°C)		6.67	6.70	6.71	6.70	6.70
실내온도 표준편차 (°C)		1.284	0.741	1.108	0.781	0.769
기 간 (%)	추 움	2.90	0.00	0.88	0.00	0.00
	쾌 적	85.85	88.77	83.68	88.46	88.58
	더 움	11.25	11.23	15.44	11.54	11.42

표 9. 난방시스템 작동결과

분 석 요 소		알 고 리 즘				
		I	II	III	IV	V
공급 열량, kWh		1537.28	1666.68	1598.31	1713.85	1790.17
평균 작동비		0.214	0.231	0.222	0.238	0.249
작동비 표준편차		0.168	0.048	0.033	0.082	0.101
on/off 횟수		15046	14824	182	34032	35922

따라서, 쾌적성 확보가 주된 관심사일 경우 퍼지 혹은 뉴로퍼지 이론이 적절할 것으로 예상되며, 에너지 성능 및 시스템 안정이 필요한 경우 인공지능경망 모델의 적용이 고려되어야 할 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 고에서는 건물 환경 제어를 위한 방법으로 최근 주목받고 있는 인공지능(AI, Artificial Intelligence) 이론에 대한 소개와 국내외 연구동향을 살펴보았다. 또한, 심층 사례 연구로서 인공지능 모델을 적용한 이중외피 건물의 난방시스템과 개구부의 통합 제어알고리즘에 대하여 소개하였다. 예측 및 적응 모델의 개발과 개발된 모델을 적용한 알고리즘은

이중외피 개구부를 적절히 작동하는 것으로 나타났으며, 열 쾌적 제공 및 시스템의 안정적 작동에 효과적인 것으로 분석되었다.

인공지능이론을 적용한 건물 환경제어 분야는 연구로써의 가치를 지니는 초기단계로 의미를 부여할 수 있다. 향후 보다 구체적이고 심도있는 연구 및 실제적 적용성을 분석할 필요가 있다. 이를 통하여 건물 환경의 효율적 조성을 위한 대안으로써의 구체성 확보가 가능할 것으로 판단된다.

마지막으로, 최근 이 분야에 대한 관심의 집중에 근간한 다양한 접근이 시도되고 있다. 무분별한 적용에 앞서 왜 인공지능을 적용하여야 하는지 명확하고 적절한 목적을 찾는 것이 선행되어야 할 것으로 사료된다.

- 참고 문헌 -

1. 한국기후변화대응연구센터, 2015, “제21차 파리 기후변화당사국총회 결과에 따른 신기후체제의 강원도 정책적 대응전략”.
2. ETRI 창의미래연구소, 2015, “인공지능 기술과 산업의 가능성”.
3. McCarthy, J., Minsky, M., Rochester, N., Shannon, C.E., 1956, “A Proposal for the Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence”.
4. Nils J. Nilsson, 1998, “Artificial Intelligence: A New Synthesis, Morgan Kaufmann Publishers”.
5. Eugene Charniak, 1985, “Introduction to Artificial Intelligence”, Addison Wesley Publishing Company, 1st edition.
6. Patrick Henry Winston, 1993, “Artificial Intelligence”, Addison Wesley Publishing Company; 3rd edition.
7. Marvin Minsky, 1961, “Steps toward Artificial Intelligence”, Proceedings of the IRE, pp. 49.
8. Rob Callan, 2003, "Artificial Intelligence", Palgrave Macmillan.
9. Gartner, 2016, "Artificial Intelligence (AI)", IT Glossary.
10. Technavio, 2014, "Global smart machines market 2014-2018", Robotics.
11. 문진우, 2014, "난방시스템 및 개구부의 통합제어를 위한 규칙기반제어법 및 인공지능망기반 제어법의 성능비교". KIEAE Journal, Vo1. 14, No. 3, pp. 97-103.
12. Jin Woo Moon, Jong-Jin Kim, 2010, "ANN-based thermal control models for residential buildings", Building and Environment, Vo1. 45, pp. 1612-1625.
13. 강인성, 정민희, 문진우, 박진철, 2016, "최근 건축물에서의 인공지능 분야 연구동향", 대한건축학회 학술발표대회논문집.
14. 김영민, 안기연, 김용세, 윤성환, 박철수, 2016, "몬테카를로 시뮬레이션과 인공 신경망을 이용한 건물 에너지 성능 프로파일링", 대한건축학회 학술발표대회 논문집, Vol. 36, No. 1, pp. 239-240.
15. 추한경, 서원준, 신한술, 라선중, 박철수, 2016, "건물 시스템에 관한 온라인 모델과 오프라인 모델의 비교", 대한건축학회 학술발표대회 논문집, Vol. 36, No. 2, pp. 645-646.
16. 라선중, 신한술, 서원준, 추한경, 박철수, 2016, "기축 건물 HVAC 시스템의 기계학습 모델 개발 및 비교", 대한건축학회 학술발표대회 논문집, Vol. 36, No. 2, pp. 625-626.
17. 신한술, 서원준, 추한경, 라선중, 박철수, 2016, "기존건축물의 빙축열 시스템 최적 제어를 위한 기계학습 모델", 대한건축학회 학술발표대회 논문집, Vol. 36, No. 2, pp. 629-630.
18. 박대흠, 정홍구, 양인호, 2013, "공조설비 지능형 최적 기동/정지 제어", 대한설비공학회 2013년도 동계학술발표회 논문집, pp. 395-397.
19. 김영진, 윤경수, 박철수, 2011, "패턴 서치 알고리즘과 유전자 알고리즘을 이용한 이중외피 시스템의 최적제어", 대한건축학회 논문집, Vol. 27, No. 7, pp. 239-248.
20. 최형준, 박영하, 김재실, 조수용, 2011, "원심압축기 최적화를 위한 연구", 한국항공우주학회 학회지, Vol. 39, No.5, pp. 433-441.
21. 양인호, 김광우, 1997, "공조설비 최적운전을 위한 신경망 모델의 적용에 관한 연구", 대한건축학회 논문집, Vol. 13, No. 8, pp. 97-107.
22. Chirag Deba, Lee Siew Eanga, Junjing Yanga, Mattheos Santamouris, 2016, "Forecasting diurnal cooling energy load for institutional buildings using Artificial Neural Networks", Energy and Buildings 121, pp. 284-297.
23. Guang Shi, Derong Liu, Qinglai Wei, 2016, "Energy consumption prediction of office buildings

- based on echo state networks", *Neurocomputing* 216, pp. 478-488.
24. Elena Mocanu, Phuong H. Nguyen, Madeleine Gibescu, Wil L. Kling, 2016, "Deep learning for estimating building energy consumption", *Sustainable Energy, Grids and Networks* 6, pp. 91-99.
 25. Leopold Mbaa, Pierre Meukamb, Alexis Kema-jou, 2016, "Application of artificial neural network for predicting hourly indoor air temperature and relative humidity in modern building in humid region", *Energy and Buildings* 121, pp. 32-42.
 26. Xiao Feng, Qi Li, Yajie Zhu, Junxiong Hou, Lingyan Jin, Jingjie Wang, 2015, "Artificial neural networks forecasting of PM2.5 pollution using air mass trajectory based geographic model and wavelet transformation", *Atmospheric Environment* 107, pp. 118-128.
 27. C. Buratti, M. Vergoni, D. Palladino, 2015, "Thermal comfort evaluation within non-residential environments : development of Artificial Neural Network by using the adaptive", *Energy Procedia* 78, pp. 2875-2880.
 28. Atika Qazi, H. Fayaz, A. Wadi, Ram Gopal Raj, N.A. Rahim, Waleed Ahmed Khan, 2015, "The artificial neural network for solar radiation prediction and designing solar systems: a systematic literature review", *Journal of Cleaner Production* 104, pp. 1-12.
 29. Jui-Sheng Chou, Dac-Khuong Bui, 2014, "Modeling heating and cooling loads by artificial intelligence for energy-efficient building design", *Energy and Buildings* 82, 437-446.
 30. António E Ruano, Pedro M. Ferreira, 2014, "Neural Network based HVAC Predictive Control", *IFAC Proceedings Volumes Vol. 47, No. 3*, pp. 3617-3622,.
 31. Adel Mellit, Soteris A. Kalogirou, 2014, "MPPT-based artificial intelligence techniques for photovoltaic systems and its implementation into field programmable gate array chips : Review of current status and future perspectives", *Energy* 70, pp. 1-21.
 32. Rajesh Kumar, R.K. Aggarwal, J.D. Sharma, 2013, "Energy analysis of a building using artificial neural network: A review", *Energy and Buildings* 65, pp. 352-358.
 33. Jin Woo Moon, 2015, "Comparative performance analysis of the artificial-intelligence-based thermal control algorithms for the double-skin building", *Applied Thermal Engineering* 91, pp. 334-344.