



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2023년03월29일
(11) 등록번호 10-2515423
(24) 등록일자 2023년03월24일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
F25B 49/00 (2022.01) F25B 30/00 (2022.01)
G01M 99/00 (2011.01) G06F 16/901 (2019.01)
G06N 3/04 (2023.01) G06N 3/08 (2023.01)

(52) CPC특허분류
F25B 49/00 (2022.01)
F25B 30/00 (2022.01)

(21) 출원번호 10-2022-0092453

(22) 출원일자 2022년07월26일

심사청구일자 2022년07월26일

(56) 선행기술조사문헌
KR1020190104926 A*
(뒷면에 계속)

(73) 특허권자
한국산업기술시험원
경상남도 진주시 충의로 10(충무공동)

(72) 발명자
이동혁
경기도 수원시
윤명섭
경기도 성남시 분당구 내정로 55 상록마을우성아파트 326동 1601호
(뒷면에 계속)

(74) 대리인
특허법인메이저

전체 청구항 수 : 총 11 항

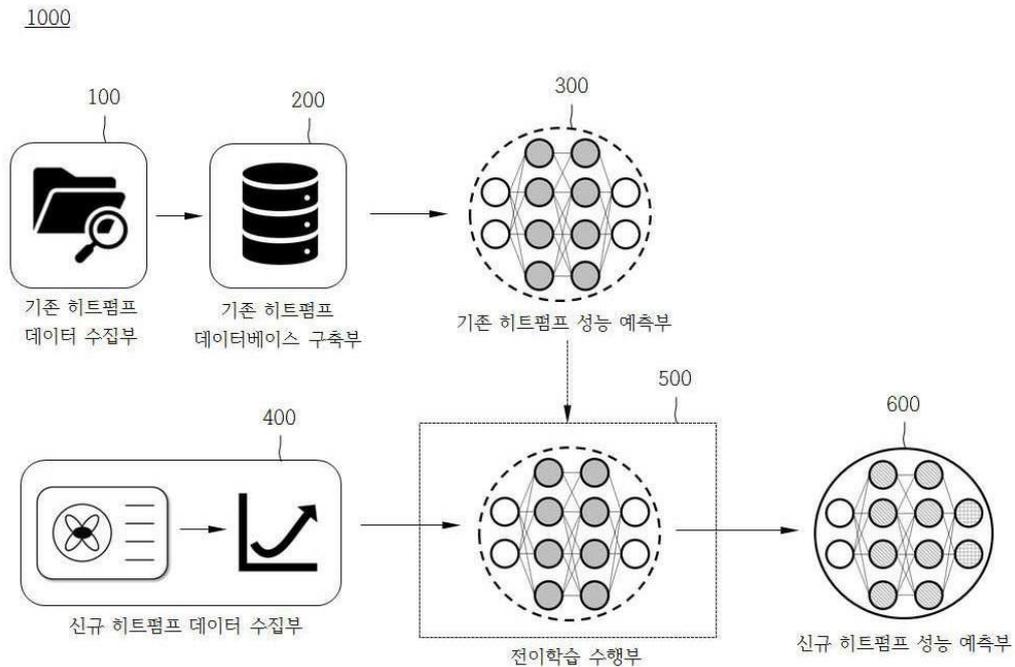
심사관 : 노우진

(54) 발명의 명칭 기존 제품의 사용경험지식과 신규 제품에 대한 소규모 측정데이터의 전이학습을 이용한 신규 히트펌프 성능 예측 시스템 및 그 방법

(57) 요약

본 발명은 기존 제품의 사용경험지식과 신규 제품에 대한 소규모 측정데이터의 전이학습을 이용한 신규 히트펌프 성능 예측 시스템에 관한 것으로, 해결하고자 하는 과제는 인공지능망을 활용하여 신규 히트펌프 제품의 성능 예측 시스템을 구축함에 있어, 기존 히트펌프 제품의 사용경험지식을 신규 히트펌프 제품의 학습데이터를 보조하는 (뒷면에 계속)

대표도



정보로 활용하여 학습데이터 수의 부족문제를 극복하는데 있다.

일례로, 기존 히트펌프로부터 수집된 운전기록데이터를 기초로 기존 히트펌프 성능 예측을 위한 인공신경망의 입력데이터와 출력데이터를 갖는 데이터베이스를 구축하는 기존 히트펌프 데이터베이스 구축부; 상기 데이터베이스를 기반으로 인공신경망의 훈련 및 예측 과정을 수행하되, 상기 예측 과정에서 인공신경망 예측 샘플을 생성하고, 상기 인공신경망 예측 샘플을 기초로 신규 히트펌프 성능 예측에 대한 불확실성 분석 과정을 수행하여 상기 인공신경망 예측 샘플의 평균 백터를 도출하는 기존 히트펌프 성능 예측부; 표준시험환경의 챔버장치를 활용하여 신규 히트펌프의 측정데이터를 수집하는 신규 히트펌프 데이터 수집부; 및 상기 데이터베이스의 입력데이터 및 상기 기존 히트펌프 성능 예측부의 평균 백터를 출력데이터로 포함하는 시스템 초기정보를 구축하고, 상기 시스템 초기정보에 상기 신규 히트펌프의 측정데이터를 결합하는 전이학습을 수행하는 전이학습 수행부를 포함하는 신규 히트펌프 성능 예측 시스템을 개시한다.

(52) CPC특허분류

- G01M 99/002 (2013.01)
- G06F 16/901 (2019.01)
- G06F 30/27 (2020.01)
- G06N 3/049 (2023.01)
- G06N 3/08 (2023.01)
- F25B 2700/21 (2013.01)

(56) 선행기술조사문헌

- KR102114989 B1*
- KR102373827 B1*
- KR1020220089541 A
- KR1020200040116 A
- *는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(72) 발명자

윤원식

경기도 안산시 상록구 중보1길 10 , 302호 (이동)

서상민

서울특별시 관악구 성현로 80, 137동 1304호(봉천동, 관악드림타운아파트)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1415170513
과제번호	P0014268
부처명	산업통상자원부
과제관리(전문)기관명	한국산업기술진흥원 (KIAT)
연구사업명	산업혁신기반구축 (R&D)
연구과제명	스마트 HVAC(공기조화기술) 실증지원 (3/4)
기 여 율	1/1
과제수행기관명	한국산업기술시험원
연구기간	2021.01.01 ~ 2022.12.31

공지예외적용 : 있음

명세서

청구범위

청구항 1

기존 히트펌프로부터 수집된 운전기록데이터를 기초로 기존 히트펌프 성능 예측을 위한 인공지능망의 입력데이터와 출력데이터를 갖는 데이터베이스를 구축하는 기존 히트펌프 데이터베이스 구축부;

상기 데이터베이스를 기반으로 인공지능망의 훈련 및 예측 과정을 수행하되, 상기 예측 과정에서 인공지능망 예측 샘플을 생성하고, 상기 인공지능망 예측 샘플을 기초로 신규 히트펌프 성능 예측에 대한 불확실성 분석 과정을 수행하여 상기 인공지능망 예측 샘플의 평균 벡터를 도출하는 기존 히트펌프 성능 예측부;

표준시험환경의 챔버장치를 활용하여 신규 히트펌프의 측정데이터를 수집하는 신규 히트펌프 데이터 수집부; 및
상기 데이터베이스의 입력데이터 및 상기 기존 히트펌프 성능 예측부의 평균 벡터를 출력데이터로 포함하는 시스템 초기정보를 구축하고, 상기 시스템 초기정보에 상기 신규 히트펌프의 측정데이터를 결합하는 전이학습을 수행하여 상기 시스템 초기정보를 업데이트 하는 전이학습 수행부를 포함하고,

상기 데이터베이스는 훈련용 데이터베이스와 검증용 데이터베이스를 포함하고,

상기 기존 히트펌프 성능 예측부는,

상기 훈련용 데이터베이스를 이용한 인공지능망의 훈련을 수행하는 인공지능망 훈련 수행부;

상기 인공지능망 훈련 수행부를 통한 훈련 완료 후 인공지능망의 예측 과정을 수행하고, 예측 수행 과정에서 인공지능망 뉴런의 일부를 무작위로 누락시키는 몬테카를로 드랍아웃(Monte Carlo dropout) 기술을 병행하여 예측 불확실성 분석을 수행하기 위한 상기 인공지능망 예측 샘플을 생성하는 인공지능망 예측 샘플 생성부; 및

상기 인공지능망 예측 샘플을 기초로 인공지능망의 출력 변수에 대한 분산 및 출력변수 간 공분산을 추정하는 과정을 통해 상기 평균 벡터를 도출하여 신규 히트펌프 성능의 예측 불확실성을 정량화하는 예측 불확실성 분석부를 포함하는 것을 특징으로 하는 기존 제품의 사용경험지식과 신규 제품에 대한 소규모 측정데이터의 전이학습을 이용한 신규 히트펌프 성능 예측 시스템.

청구항 2

제1 항에 있어서,

사용현장에서 기존 히트펌프의 내장센서로부터 측정된 운전기록데이터 및 기존 히트펌프에 대한 표준시험환경에서 챔버장치를 통해 측정된 운전기록데이터를 중 적어도 하나를 수집하여 상기 기존 히트펌프 데이터베이스 구축부로 제공하는 기존 히트펌프 데이터 수집부를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 기존 제품의 사용경험지식과 신규 제품에 대한 소규모 측정데이터의 전이학습을 이용한 신규 히트펌프 성능 예측 시스템.

청구항 3

제2 항에 있어서,

상기 챔버장치는,

표준시험환경에서 운전기록데이터를 상기 기존 히트펌프 데이터 수집부로 제공하기 위해, 기존 히트펌프가 설치되는 실외 측 챔버; 실내 측 수조; 열원 측 수열교환기; 상기 실내 측 수조의 입구에 설치된 제1 유량조절밸브; 상기 제1 유량조절밸브 및 상기 열원 측 수열교환기의 출구 사이에 설치된 제1 온도계; 상기 실내 측 수조의 출구에 설치된 제2 유량조절밸브; 및 상기 제2 유량조절밸브와 상기 열원 측 수열교환기의 입구 사이에 설치된 제2 온도계를 포함하고,

상기 기존 히트펌프 데이터 수집부는,

실내 냉난방 부하 및 실외 냉난방 부하를 각각 변화시킬 수 있도록 상기 실내 측 수조의 입구 수온 및 물 유량과, 상기 열원 측 수열교환기의 실외 측 건구온도, 실내 측 건구온도, 열원 측 물 온도 및 열원 측 물 유량에 대한 시계열 방식 및 비시계열 방식 중 적어도 하나의 방식으로 추종 제어를 각각 실시하여, 상기 실내 측 수조의 기존 히트펌프의 공급 열량 산출에 필요한 정보인 물의 입출구 온도차 및 유량정보를 수집하는 것을 특징으로 하는 기존 제품의 사용경험지식과 신규 제품에 대한 소규모 측정데이터의 전이학습을 이용한 신규 히트펌프 성능 예측 시스템.

청구항 4

제2 항에 있어서,

상기 기존 히트펌프 데이터 수집부는, 제품고유정보, 냉난방 부하정보 및 히트펌프 제어정보 중 적어도 하나를 인공지능망의 입력데이터로 수집하고, 히트펌프 성능정보를 출력데이터로 수집하고,

상기 제품고유정보는, 냉난방 정격용량정보 및 냉난방 정격 성적계수정보를 포함하고,

상기 냉난방 부하정보는, 기존 히트펌프를 이용하는 이용 측 실내 수조의 수온 및 유량정보 및 실외 온/습도정보를 포함하는 실내외 열환경정보이고,

상기 히트펌프 제어정보는, 기존 히트펌프에 대한 기동정보, 정지정보 및 가동율정보를 포함하는 히트펌프 가동 상태정보이고,

상기 히트펌프 성능정보는, 기존 히트펌프의 운전환경에서 측정된 냉난방 용량정보 및 냉난방 성적계수정보를 포함하는 예측대상정보인 것을 특징으로 하는 기존 제품의 사용경험지식과 신규 제품에 대한 소규모 측정데이터의 전이학습을 이용한 신규 히트펌프 성능 예측 시스템.

청구항 5

제1 항에 있어서,

상기 기존 히트펌프 데이터베이스 구축부는,

상기 운전기록데이터를 기초로 인공지능망의 입력데이터와 출력데이터를 행렬 형태의 데이터베이스를 구축하되, 입력데이터와 출력데이터의 각 행을 단일시험에 대응되도록 구성하고, 각 열을 인공지능망의 입출력 변수에 대응되도록 구성하여 데이터베이스를 구축하는 것을 특징으로 하는 기존 제품의 사용경험지식과 신규 제품에 대한 소규모 측정데이터의 전이학습을 이용한 신규 히트펌프 성능 예측 시스템.

청구항 6

삭제

청구항 7

제1 항에 있어서,

상기 몬테카를로 드랍아웃의 하이퍼 파라미터는 드랍아웃의 확률(0-1)로서 0.5를 적용하는 것을 특징으로 하는 기존 제품의 사용경험지식과 신규 제품에 대한 소규모 측정데이터의 전이학습을 이용한 신규 히트펌프 성능 예측 시스템.

청구항 8

제1 항에 있어서,

상기 전이학습 수행부는,

기 구축된 시계열 인공신경망을 이용하여 상기 신규 히트펌프의 측정데이터로부터 입력 시계열 데이터와 출력 시계열 데이터를 포함하는 시계열 특징 데이터를 추출하는 시계열 특징 데이터 추출부;

상기 신규 히트펌프의 측정데이터 중 비시계열 데이터의 경우 특정 시간에 기록된 데이터로 간주하여 기 구축된 비시계열 인공신경망을 통해 입력 비시계열 데이터와 출력 비시계열 데이터를 포함하는 비시계열 특징 데이터를 추출하는 비시계열 특징 데이터 추출부; 및

상기 시스템 초기정보를 기반으로 신규 히트펌프 성능 예측을 위한 인공신경망 학습을 수행하되, 상기 시계열 특징 데이터와 상기 비시계열 특징 데이터를 이용하여 인공신경망의 뉴런 가중치를 미세 조정하는 전이학습을 통해 인공신경망의 업데이트를 수행하는 인공신경망 업데이트 수행부를 포함하는 것을 특징으로 하는 기존 제품의 사용경험지식과 신규 제품에 대한 소규모 측정데이터의 전이학습을 이용한 신규 히트펌프 성능 예측 시스템.

청구항 9

제8 항에 있어서,

상기 시계열 인공신경망은, 다층의 합성곱 레이어; 마지막 합성곱 레이어의 출력단으로부터 신경 출력 레이어까지 완전 결합되는 전 결합 레이어; 및 상기 합성곱 레이어에 각각 적용되는 풀링 레이어를 포함하고,

상기 비시계열 인공신경망은 전 결합 레이어를 포함하는 것을 특징으로 하는 기존 제품의 사용경험지식과 신규 제품에 대한 소규모 측정데이터의 전이학습을 이용한 신규 히트펌프 성능 예측 시스템.

청구항 10

제8 항에 있어서,

상기 인공신경망 업데이트 수행부는,

상기 시계열 인공신경망에서 뉴런의 위치가 상기 시계열 인공신경망의 입력 레이어에 가까울수록 상기 시계열 인공신경망의 업데이트를 미리 설정된 기준 업데이트 수준 보다 상대적으로 낮게 설정하여 수행하고, 상기 시계열 인공신경망의 뉴런의 위치가 상기 시계열 인공신경망의 출력 레이어에 가까울수록 상기 시계열 인공신경망의 업데이트를 미리 설정된 기준 업데이트 수준 보다 높게 설정하여 수행하고,

상기 비시계열 인공신경망에서 뉴런의 위치가 출력 레이어에 가까울수록 상기 비시계열 인공신경망의 업데이트를 미리 설정된 기준 업데이트 수준보다 높게 설정하여 수행하는 것을 특징으로 하는 기존 제품의 사용경험지식과 신규 제품에 대한 소규모 측정데이터의 전이학습을 이용한 신규 히트펌프 성능 예측 시스템.

청구항 11

제1 항에 있어서,

상기 전이학습 수행부를 통해 제공되는 학습데이터를 기반으로 신규 히트펌프에 대한 성능을 예측하는 신규 히트펌프 성능 예측부를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 기존 제품의 사용경험지식과 신규 제품에 대한 소규모 측정데이터의 전이학습을 이용한 신규 히트펌프 성능 예측 시스템.

청구항 12

기존 히트펌프 데이터 수집부가, 사용현장에서 기존 히트펌프의 내장센서로부터 측정된 운전기록데이터 및 기존 히트펌프에 대한 표준시험환경에서 챔버장치를 통해 측정된 운전기록데이터를 중 적어도 하나를 수집하여 기존 히트펌프 데이터베이스 구축부로 제공하는 기존 히트펌프 데이터 수집 단계;

상기 기존 히트펌프 데이터베이스 구축부가, 기존 히트펌프로부터 수집된 운전기록데이터를 기초로 기존 히트펌프 성능 예측을 위한 인공신경망의 입력데이터와 출력데이터를 갖는 데이터베이스를 구축하는 기존 히트펌프 데

이터베이스 구축 단계;

기존 히트펌프 성능 예측부가, 상기 데이터베이스를 기반으로 인공지능망의 훈련 및 예측 과정을 수행하되, 상기 예측 과정에서 인공지능망 예측 샘플을 생성하고, 상기 인공지능망 예측 샘플을 기초로 신규 히트펌프 성능 예측에 대한 불확실성 분석 과정을 수행하여 상기 인공지능망 예측 샘플의 평균 벡터를 도출하는 기존 히트펌프 성능 예측 단계;

신규 히트펌프 데이터 수집부가, 표준시험환경의 챔버장치를 활용하여 신규 히트펌프의 측정데이터를 수집하는 신규 히트펌프 데이터 수집 단계;

전이학습 수행부가, 상기 데이터베이스의 입력데이터 및 상기 기존 히트펌프 성능 예측 단계의 평균 벡터를 출력데이터로 포함하는 시스템 초기정보를 구축하고, 상기 시스템 초기정보에 상기 신규 히트펌프의 측정데이터를 결합하는 전이학습을 수행하는 전이학습 수행 단계; 및

신규 히트펌프 성능 예측부가, 상기 전이학습 수행 단계를 통해 제공되는 학습데이터를 기반으로 신규 히트펌프에 대한 성능을 예측하는 신규 히트펌프 성능 예측 단계를 포함하고,

상기 데이터베이스는 훈련용 데이터베이스와 검증용 데이터베이스를 포함하고,

상기 기존 히트펌프 성능 예측 단계는,

상기 훈련용 데이터베이스를 이용한 인공지능망의 훈련을 수행하는 인공지능망 훈련 수행 단계;

상기 인공지능망 훈련 수행 단계를 통한 훈련 완료 후 인공지능망의 예측 과정을 수행하고, 예측 수행 과정에서 인공지능망 뉴런의 일부를 무작위로 누락시키는 몬테카를로 드랍아웃(Monte Carlo dropout) 기술을 병행하여 예측 불확실성 분석을 수행하기 위한 상기 인공지능망 예측 샘플을 생성하는 인공지능망 예측 샘플 생성 단계; 및

상기 인공지능망 예측 샘플을 기초로 인공지능망의 출력 변수에 대한 분산 및 출력변수 간 공분산을 추정하는 과정을 통해 상기 평균 벡터를 도출하여 신규 히트펌프 성능의 예측 불확실성을 정량화하는 예측 불확실성 분석 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 기존 제품의 사용경험지식과 신규 제품에 대한 소규모 측정데이터의 전이 학습을 이용한 신규 히트펌프 성능 예측 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명의 실시예는 기존 제품의 사용경험지식과 신규 제품에 대한 소규모 측정데이터의 전이학습을 이용하여 신규 히트펌프의 성능을 예측하는 시스템 및 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 인공지능망은 지도학습 방법 중 하나로, 사전에 확보된 입출력 데이터 세트를 이용하여 시스템에서 관측되지 않은 수학적 구조를 재구성하는 방법론에 해당한다. 그리고, 인공지능망은 센싱 기술, 데이터 저장 기술 및 컴퓨팅 기술의 발전에 의해 생산되는 데이터 양이 증가함에 따라 예측 문제의 주요 수단으로 활용되고 있다.

[0003] 공기-물 히트펌프 또는 물-물 히트펌프는 외기 또는 외부의 물로부터 열을 공급받아 물을 냉각 또는 가열하는 공조장비로서, 에너지 효율화를 위해서는 실내의 환경변화를 고려하여 제품 성능을 정확하게 예측하는 것은 중요하다.

[0004] 기존 히트펌프 제품의 경우, 에너지관리시스템 또는 제품 내장 센서로부터 수집된 대량의 히트펌프 운영 데이터와 신경망 기법을 연계하여 예측 성능이 확보된 성능 예측 시스템을 쉽게 얻을 수 있고, 히트펌프 운영 과정에서 신경망을 중심으로 한 모델 예측 제어(model predictive control)를 활용한다면 자동제어를 통해 불필요한 에너지 소비를 상당부분 줄일 수 있기 때문에 에너지 효율화를 극대화할 수 있다.

[0005] 그러나, 히트펌프 운영 데이터를 충분히 확보하는 것이 현실적으로 어렵기 때문에 이러한 경우에는 상기 예측 시스템의 성능을 보장받는 것 역시 어려울 수 있다.

[0006] 인공지능망 기법을 활용하여 히트펌프 성능 예측 시스템을 구축하기 위해서는 대량의 히트펌프 운영 데이터가 사전에 확보되어 있어야 한다.

[0007] 그러나, 신규 히트펌프 제품의 경우 이에 대한 과거 운영 기록이 부재하기 때문에 별도의 챔버 추가 시험이 수

반되고, 인건비, 시험 소요시간 등 경제적 비용이 발생한다.

[0008] 따라서, 신규 히트펌프 제품에 대해 요구되는 학습 데이터 양을 줄여 히트펌프 성능 예측 시스템 구축에 소요되는 비용을 줄이는 방법을 개발할 필요가 있고, 추가 챔버 시험 없이 신경망 학습 기반 정보를 증강시켜 히트펌프 성능 예측 시스템의 일반화 (generalization) 성능을 높일 수 있어야 한다.

선행기술문헌

특허문헌

[0009] (특허문헌 0001) 공개특허공보 제10-2022-0041690호(공개일자: 2022년04월01일)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0010] 본 발명의 실시예는, 인공지능망을 활용하여 신규 히트펌프 제품의 성능 예측 시스템을 구축함에 있어, 기존 히트펌프 제품의 사용경험지식을 신규 히트펌프 제품의 학습데이터를 보조하는 정보로 활용하여 학습데이터 수의 부족문제를 극복할 수 있는 신규 히트펌프 성능 예측 시스템 및 방법을 제공한다.

과제의 해결 수단

[0011] 본 발명의 일 실시예에 따른 신규 히트펌프 성능 예측 시스템은, 기존 히트펌프로부터 수집된 운전기록데이터를 기초로 기존 히트펌프 성능 예측을 위한 인공지능망의 입력데이터와 출력데이터를 갖는 데이터베이스를 구축하는 기존 히트펌프 데이터베이스 구축부; 상기 데이터베이스를 기반으로 인공지능망의 훈련 및 예측 과정을 수행하되, 상기 예측 과정에서 인공지능망 예측 샘플을 생성하고, 상기 인공지능망 예측 샘플을 기초로 신규 히트펌프 성능 예측에 대한 불확실성 분석 과정을 수행하여 상기 인공지능망 예측 샘플의 평균 백터를 도출하는 기존 히트펌프 성능 예측부; 표준시험환경의 챔버장치를 활용하여 신규 히트펌프의 측정데이터를 수집하는 신규 히트펌프 데이터 수집부; 및 상기 데이터베이스의 입력데이터 및 상기 기존 히트펌프 성능 예측부의 평균 백터를 출력데이터로 포함하는 시스템 초기정보를 구축하고, 상기 시스템 초기정보에 상기 신규 히트펌프의 측정데이터를 결합하는 전이학습을 수행하여 상기 시스템 초기정보를 업데이트 하는 전이학습 수행부를 포함한다.

[0012] 또한, 사용현장에서 기존 히트펌프의 내장센서로부터 측정된 운전기록데이터 및 기존 히트펌프에 대한 표준시험 환경에서 챔버장치를 통해 측정된 운전기록데이터를 중 적어도 하나를 수집하여 상기 기존 히트펌프 데이터베이스 구축부로 제공하는 기존 히트펌프 데이터 수집부를 더 포함할 수 있다.

[0013] 또한, 상기 챔버장치는, 표준시험환경에서 운전기록데이터를 상기 기존 히트펌프 데이터 수집부로 제공하기 위해, 기존 히트펌프가 설치되는 실외 측 챔버; 실내 측 수조; 열원 측 수열교환기; 상기 실내 측 수조의 입구에 설치된 제1 유량조절밸브; 상기 제1 유량조절밸브 및 상기 열원 측 수열교환기의 출구 사이에 설치된 제1 온도계; 상기 실내 측 수조의 출구에 설치된 제2 유량조절밸브; 및 상기 제2 유량조절밸브와 상기 열원 측 수열교환기의 입구 사이에 설치된 제2 온도계를 포함하고, 상기 기존 히트펌프 데이터 수집부는, 실내 냉난방 부하 및 실외 냉난방 부하를 각각 변화시킬 수 있도록 상기 실내 측 수조의 입구 수온 및 물 유량과, 상기 열원 측 수열교환기의 실외 측 건구온도, 실내 측 건구온도, 열원 측 물 온도 및 열원 측 물 유량에 대한 시계열 방식 및 비시계열 방식 중 적어도 하나의 방식으로 추종 제어를 각각 실시하여, 상기 실내 측 수조로의 기존 히트펌프의 공급 열량 산출에 필요한 정보인 물의 입출구 온도차 및 유량정보를 수집할 수 있다.

[0014] 또한, 상기 기존 히트펌프 데이터 수집부는, 제품고유정보, 냉난방 부하정보 및 히트펌프 제어정보 중 적어도 하나를 인공지능망의 입력데이터로 수집하고, 히트펌프 성능정보를 출력데이터로 수집하고, 상기 제품고유정보는, 냉난방 정격용량정보 및 냉난방 정격 성적계수정보를 포함하고, 상기 냉난방 부하정보는, 기존 히트펌프를 이용하는 이용 측 실내 수조의 수온 및 유량정보 및 실외 온/습도정보를 포함하는 실내의 열환경정보이고, 상기 히트펌프 제어정보는, 기존 히트펌프에 대한 기동정보, 정지정보 및 가동율정보를 포함하는 히트펌프 가동상태 정보이고, 상기 히트펌프 성능정보는, 기존 히트펌프의 운전환경에서 측정된 냉난방 용량정보 및 냉난방 성적계수정보를 포함하는 예측대상정보일 수 있다.

[0015] 또한, 상기 기존 히트펌프 데이터베이스 구축부는, 상기 운전기록데이터를 기초로 인공지능망의 입력데이터와

출력데이터를 행렬 형태의 데이터베이스를 구축하되, 입력데이터와 출력데이터의 각 행을 단일시험에 대응되도록 구성하고, 각 열을 인공신경망의 입출력 변수에 대응되도록 구성하여 데이터베이스를 구축할 수 있다.

[0016] 또한, 상기 데이터베이스는 훈련용 데이터베이스와 검증용 데이터베이스를 포함하고, 상기 기존 히트펌프 성능 예측부는, 상기 훈련용 데이터베이스를 이용한 인공신경망의 훈련을 수행하는 인공신경망 훈련 수행부; 상기 인공신경망 훈련 수행부를 통한 훈련 완료 후 인공신경망의 예측 과정을 수행하고, 예측 수행 과정에서 인공신경망 뉴런의 일부를 무작위로 누락시키는 몬테카를로 드롭아웃(Monte Carlo dropout) 기술을 병행하여 예측 불확실성 분석을 수행하기 위한 상기 인공신경망 예측 샘플을 생성하는 인공신경망 예측 샘플 생성부; 및 상기 인공신경망 예측 샘플을 기초로 인공신경망의 출력 변수에 대한 분산 및 출력변수 간 공분산을 추정하는 과정을 통해 상기 평균 벡터를 도출하여 신규 히트펌프 성능의 예측 불확실성을 정량화하는 예측 불확실성 분석부를 포함할 수 있다.

[0017] 또한, 상기 몬테카를로 드롭아웃의 하이퍼 파라미터는 드롭아웃의 확률(0-1)로서 0.5를 적용할 수 있다.

[0018] 또한, 상기 전이학습 수행부는, 기 구축된 시계열 인공신경망을 이용하여 상기 신규 히트펌프의 측정데이터로부터 입력 시계열 데이터와 출력 시계열 데이터를 포함하는 시계열 특징 데이터를 추출하는 시계열 특징 데이터 추출부; 상기 신규 히트펌프의 측정데이터 중 비시계열 데이터의 경우 특정 시간에 기록된 데이터로 간주하여 기 구축된 비시계열 인공신경망을 통해 입력 비시계열 데이터와 출력 비시계열 데이터를 포함하는 비시계열 특징 데이터를 추출하는 비시계열 특징 데이터 추출부; 및 상기 시스템 초기정보를 기반으로 신규 히트펌프 성능 예측을 위한 인공신경망 학습을 수행하되, 상기 시계열 특징 데이터와 상기 비시계열 특징 데이터를 이용하여 인공신경망의 뉴런 가중치를 미세 조정하는 전이학습을 통해 인공신경망의 업데이트를 수행하는 인공신경망 업데이트 수행부를 포함할 수 있다.

[0019] 또한, 상기 시계열 인공신경망은, 다층의 합성곱 레이어; 마지막 합성곱 레이어의 출력단으로부터 신경 출력 레이어까지 완전 결합되는 전 결합 레이어; 및 상기 합성곱 레이어에 각각 적용되는 풀링 레이어를 포함하고, 상기 비시계열 인공신경망은 전 결합 레이어를 포함할 수 있다.

[0020] 또한, 상기 인공신경망 업데이트 수행부는, 상기 시계열 인공신경망에서 뉴런의 위치가 상기 시계열 인공신경망의 입력 레이어에 가까울수록 상기 시계열 인공신경망의 업데이트를 미리 설정된 기준 업데이트 수준 보다 상대적으로 낮게 설정하여 수행하고, 상기 시계열 인공신경망의 뉴런의 위치가 상기 시계열 인공신경망의 출력 레이어에 가까울수록 상기 시계열 인공신경망의 업데이트를 미리 설정된 기준 업데이트 수준 보다 높게 설정하여 수행하고, 상기 비시계열 인공신경망에서 뉴런의 위치가 출력 레이어에 가까울수록 상기 비시계열 인공신경망의 업데이트를 미리 설정된 기준 업데이트 수준보다 높게 설정하여 수행할 수 있다.

[0021] 또한, 상기 전이학습 수행부를 통해 제공되는 학습데이터를 기반으로 신규 히트펌프에 대한 성능을 예측하는 신규 히트펌프 성능 예측부를 더 포함할 수 있다.

[0022] 본 발명의 다른 실시예에 따른 신규 히트펌프 성능 예측 방법은, 기존 히트펌프 데이터 수집부가, 사용현장에서 기존 히트펌프의 내장센서로부터 측정된 운전기록데이터 및 기존 히트펌프에 대한 표준시험환경에서 챔버장치를 통해 측정된 운전기록데이터를 중 적어도 하나를 수집하여 기존 히트펌프 데이터베이스 구축부로 제공하는 기존 히트펌프 데이터 수집 단계; 상기 기존 히트펌프 데이터베이스 구축부가, 기존 히트펌프로부터 수집된 운전기록 데이터를 기초로 기존 히트펌프 성능 예측을 위한 인공신경망의 입력데이터와 출력데이터를 갖는 데이터베이스를 구축하는 기존 히트펌프 데이터베이스 구축 단계; 기존 히트펌프 성능 예측부가, 상기 데이터베이스를 기반으로 인공신경망의 훈련 및 예측 과정을 수행하되, 상기 예측 과정에서 인공신경망 예측 샘플을 생성하고, 상기 인공신경망 예측 샘플을 기초로 신규 히트펌프 성능 예측에 대한 불확실성 분석 과정을 수행하여 상기 인공신경망 예측 샘플의 평균 벡터를 도출하는 기존 히트펌프 성능 예측 단계; 신규 히트펌프 데이터 수집부가, 표준시험환경의 챔버장치를 활용하여 신규 히트펌프의 측정데이터를 수집하는 신규 히트펌프 데이터 수집 단계; 전이학습 수행부가, 상기 데이터베이스의 입력데이터 및 상기 기존 히트펌프 성능 예측 단계의 평균 벡터를 출력데이터로 포함하는 시스템 초기정보를 구축하고, 상기 시스템 초기정보에 상기 신규 히트펌프의 측정데이터를 결합하는 전이학습을 수행하는 전이학습 수행 단계; 및 신규 히트펌프 성능 예측부가, 상기 전이학습 수행 단계를 통해 제공되는 학습데이터를 기반으로 신규 히트펌프에 대한 성능을 예측하는 신규 히트펌프 성능 예측 단계를 포함한다.

발명의 효과

[0023] 본 발명에 따르면, 공기-물 히트펌프 또는 물-물 히트펌프에 대하여 실제 사용 현장에서도 챔버시험조건(실내외

환경이 통제된 표준시험조건)에서 측정된 제품 성능(냉난방 용량, 냉난방 성적계수 등)을 예측할 수 있는 인공 신경망을 구축하고, 히트펌프와 유무선 통신이 가능한 단말기에 해당 인공신경망을 탑재하여 히트펌프의 활용도를 높일 수 있다.

[0024] 또한, 신규 히트펌프 제품의 인공신경망 학습 데이터를 얻기 위해 요구되는 챔버시험 횟수를 줄임으로써 학습데이터 획득에 소요되는 시간, 인적자원 및 비용을 줄일 수 있고, 기존 히트펌프 제품의 사용 기록을 재활용하기 때문에 신경망 학습에 소요되는 시간을 저감할 수 있고, 신경망 예측 정확도 및 일반화 성능 역시 높일 수 있다.

[0025] 또한, 히트펌프 성능 예측 시스템을 구축하는 과정에서 실내의 열 환경에 대한 다양성을 반영함으로써 성능 예측 단계에서 냉난방 부하의 가변성에 유연하게 대응할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0026] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 신규 히트펌프 성능 예측 시스템의 구성 및 동작 방식을 나타낸 개요도이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 신규 히트펌프 성능 예측 시스템의 구성을 나타낸 블록도이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 기존 히트펌프 데이터 수집부의 기존 히트펌프 운전기록데이터 수집 방식을 나타낸 블록도이다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 기존 히트펌프 운전기록데이터의 구성을 나타낸 블록도이다.

도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 기존 히트펌프 데이터베이스 구축부의 데이터베이스 구성을 나타낸 블록도이다.

도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 기존 히트펌프 운전기록데이터를 측정하기 위한 챔버장치의 구성을 나타낸 블록도이다.

도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 기존 히트펌프 데이터 수집부를 통한 챔버장치의 이용 측 및 열원 측 추종 제어 구성을 나타낸 블록도이다.

도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 기존 히트펌프 성능 예측부의 구성 및 동작 프로세스를 나타낸 블록도이다.

도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 제품 자체적으로 측정된 성능을 예측하는 기존 히트펌프 성능 예측부를 나타낸 블록도이다.

도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 신규 표준시험환경(챔버시험환경)에서 측정된 성능을 예측하는 기존 히트펌프 성능 예측부를 나타낸 블록도이다.

도 11은 본 발명의 일 실시예에 따른 신규 히트펌프 데이터와 기존 히트펌프 데이터를 결합하는 전이학습 수행부의 동작 프로세스를 나타낸 블록도이다.

도 12는 본 발명의 일 실시예에 따른 시계열 특징 데이터 추출부(시계열 인공신경망 구조)를 나타낸 도면이다.

도 13은 본 발명의 일 실시예에 따른 비시계열 특징 데이터 추출부(비시계열 인공신경망 구조)를 나타낸 도면이다.

도 14는 본 발명의 일 실시예에 따른 신규 히트펌프 성능 예측 시스템과 신규 제품(히트펌프) 간 연동 프로세스와 구성을 나타낸 블록도이다.

도 15는 본 발명의 다른 실시예에 따른 신규 히트펌프 성능 예측 방법의 구성을 나타낸 순서도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0027] 본 명세서에서 사용되는 용어에 대해 간략히 설명하고, 본 발명에 대해 구체적으로 설명하기로 한다.

[0028] 본 발명에서 사용되는 용어는 본 발명에서의 기능을 고려하면서 가능한 현재 널리 사용되는 일반적인 용어들을 선택하였으나, 이는 당 분야에 종사하는 기술자의 의도 또는 관례, 새로운 기술의 출현 등에 따라 달라질 수 있다. 또한, 특정한 경우는 출원인이 임의로 선정한 용어도 있으며, 이 경우 해당되는 발명의 설명 부분에서 상세히 그 의미를 기재할 것이다. 따라서 본 발명에서 사용되는 용어는 단순한 용어의 명칭이 아닌, 그 용어가 가지

는 의미와 본 발명의 전반에 걸친 내용을 토대로 정의되어야 한다.

- [0029] 명세서 전체에서 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성요소를 더 포함할 수 있음을 의미한다. 또한, 명세서에 기재된 "...부", "모듈" 등의 용어는 적어도 하나 이상의 기능이나 동작을 처리하는 단위를 의미하며, 이는 하드웨어 또는 소프트웨어로 구현되거나 하드웨어와 소프트웨어의 결합으로 구현될 수 있다.
- [0030] 아래에서는 첨부한 도면을 참고하여 본 발명의 실시예에 대하여 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 상세히 설명한다. 그러나 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 실시예에 한정되지 않는다. 그리고 도면에서 본 발명을 명확하게 설명하기 위해서 설명과 관계없는 부분은 생략하였으며, 명세서 전체를 통하여 유사한 부분에 대해서는 유사한 도면 부호를 붙였다.
- [0031] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 신규 히트펌프 성능 예측 시스템의 구성 및 동작 방식을 나타낸 개요도이고, 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 신규 히트펌프 성능 예측 시스템의 구성을 나타낸 블록도이고, 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 기존 히트펌프 데이터 수집부의 기존 히트펌프 운전기록데이터 수집 방식을 나타낸 블록도이고, 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 기존 히트펌프 운전기록데이터의 구성을 나타낸 블록도이고, 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 기존 히트펌프 데이터베이스 구축부의 데이터베이스 구성을 나타낸 블록도이고, 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 기존 히트펌프 운전기록데이터를 측정하기 위한 챔버장치의 구성을 나타낸 블록도이고, 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 기존 히트펌프 데이터 수집부를 통한 챔버장치의 이용 측 및 열원 측 추종 제어 구성을 나타낸 블록도이고, 도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 기존 히트펌프 성능 예측부의 구성 및 동작 프로세스를 나타낸 블록도이고, 도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 제품 자체적으로 측정된 성능을 예측하는 기존 히트펌프 성능 예측부를 나타낸 블록도이고, 도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 신규 표준시험환경(챔버시험환경)에서 측정된 성능을 예측하는 기존 히트펌프 성능 예측부를 나타낸 블록도이고, 도 11은 본 발명의 일 실시예에 따른 신규 히트펌프 데이터와 기존 히트펌프 데이터를 결합하는 전이학습 수행부의 동작 프로세스를 나타낸 블록도이고, 도 12의 (a)는 본 발명의 일 실시예에 따른 시계열 특징 데이터 추출부(시계열 인공신경망 구조)를 나타내고, 도 12는 본 발명의 일 실시예에 따른 시계열 특징 데이터 추출부(시계열 인공신경망 구조)를 나타낸 도면이고, 도 13은 본 발명의 일 실시예에 따른 비시계열 특징 데이터 추출부(비시계열 인공신경망 구조)를 나타낸 도면이다.
- [0032] 도 1을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 신규 히트펌프 성능 예측 시스템(1000)은 인공신경망 학습 과정에서 기존 히트펌프 운영 기록으로부터 사전 학습된 기존 히트펌프 성능 예측 데이터를 생성하고, 생성된 데이터를 시스템의 초기정보로 활용하고, 소규모 챔버시험으로부터 수집된 신규 히트펌프 데이터를 이용하여 시스템의 초기정보를 업데이트를 함으로써 구축될 수 있으며, 시스템 초기정보로서 기존 히트펌프에 대한 사용경험지식을 활용하고, 신규 히트펌프 정보로서 신규 히트펌프에 대한 소규모 시험정보를 활용하며, 이에 따라 신규 히트펌프의 성능 예측부(600)는 함수 형태로 구조화된 기존 사용경험지식이 신규 히트펌프의 소규모 시험정보로 전이된 결과와 같다고 할 수 있다.
- [0033] 인공신경망 기법을 활용하여 신규 히트펌프의 성능 예측 시스템을 구축하기 위해서는 해당 제품의 사용 기록 또는 사전 챔버 시험을 통해 충분한 양의 학습 데이터가 확보되어야 하나, 기존의 사용 기록이 부재하여 데이터 확보 과정에서 소요되는 비용, 시간 및 인적자원이 예측 시스템 구축의 현실적인 어려움으로 작용할 수 있다.
- [0034] 또한, 학습 데이터 수가 부족한 상황에서 신경망 학습이 이루어진 경우, 신경망 가중치의 초기 설정에 따라 상기 신경망의 예측 성능이 민감하게 변화할 수 있고, 센서 잡음에 기인한 물리적 상태 및 학습 데이터 간 간극(discrepancy)이 모델에 반영되는 과적합(overfitting) 문제 역시 발생할 수 있으므로, 신경망 학습 정보의 부족분을 외부로부터 도입할 필요가 있다.
- [0035] 이런 관점에서, 센서, 통신 및 저장장치를 통해 수집된 기존 히트펌프들의 운영기록을 데이터베이스로 변환하면 기존 히트펌프 데이터베이스를 얻을 수 있고, 이로부터 구축된 인공신경망은 학습 데이터 부족문제를 보완하는 의사 정보(pseudo-information)이자 신규 히트펌프 성능 예측 시스템의 초기정보로 활용 가능하다. 여기서, 시스템 초기정보는 인공신경망 아키텍처, 신경망 가중치, 인공신경망 학습 하이퍼 파라미터 등 신경망 학습에 개입되는 전반적인 정보를 모두 포함할 수 있다. 기존 히트펌프에 대한 경험 지식과 신규 제품에 대한 정보를 결합하는 일련의 과정을 전이학습(transfer learning)이라고 한다. 이러한 전이학습은 기계학습 프레임워크 중 하나로, 사전 학습된 인공신경망 정보를 학습할 인공신경망의 초기정보로 적용함으로써 새로 확보해야 하는 학습 데이터의 수집 부담을 줄이는 방법으로, 기존 제품의 사용 경험을 다양한 문제에 재활용할 수 있고, 적은 수의

신규 데이터를 확보하는 것만으로도 준수한 성능의 예측 시스템을 얻을 수 있는 장점을 지니고 있다.

- [0036] 이하, 전이학습은 기존 정보가 신규 정보와 유사함을 전제로 하므로, 예측하고자 하는 본 일 실시예에 따른 신규 제품 군을 공기-물 히트펌프 또는 물-물 히트펌프인 것으로 한정하여 설명한다.
- [0037] 본 발명의 일 실시예에 따른 신규 히트펌프 성능 예측 시스템(1000)은 도 1 및 도 2에 도시된 바와 같이, 기존 히트펌프 데이터 수집부(110), 기존 히트펌프 데이터베이스 구축부(200), 기존 히트펌프 성능 예측부(130), 신규 히트펌프 데이터 수집부(400), 전이학습 수행부(500) 및 신규 히트펌프 성능 예측부(600) 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.
- [0038] 상기 기존 히트펌프 데이터 수집부(110)는, 사용현장에서 기존 히트펌프의 내장센서로부터 측정된 운전기록데이터 및 기존 히트펌프에 대한 표준시험환경에서 챔버장치를 통해 측정된 운전기록데이터를 중 적어도 하나를 수집하여 기존 히트펌프 데이터베이스 구축부(200)로 데이터베이스 구축을 위해 제공할 수 있다. 즉, 기존 히트펌프 데이터를 수집하는 방법은 히트펌프 관련 제품에 내장된 센서를 활용하는 현장측정방법과 챔버장치를 활용하는 표준시험기반의 측정방법으로 구분될 수 있다.
- [0039] 상기 기존 히트펌프 데이터 수집부(110)는, 제품고유정보, 냉난방 부하정보 및 히트펌프 제어정보 중 적어도 하나를 인공지능망의 입력데이터로 수집하고, 히트펌프 성능정보를 출력데이터로 수집할 수 있다.
- [0040] 도 4에 도시된 바와 같이, 히트펌프 별로 제품 고유정보, 냉난방 부하정보, 히트펌프 제어정보 등 인공지능망 입력정보(A1)가 수집되며, 히트펌프 성능정보(A2)가 인공지능망 출력정보로서 수집될 수 있다.
- [0041] 도 5에 도시된 바와 같이, 제품고유정보에는 냉난방 정격 용량, 냉난방 정격 성적계수 등이 포함될 수 있다. 냉난방 부하정보 및 히트펌프 제어정보만으로는 히트펌프 성능정보를 예측할 수 없는 식별 불가능 문제(undetectable problem)가 발생할 수 있어, 제품고유정보는 이러한 식별 불가능 문제에 대응하기 위한 보조 정보 역할을 수행할 수 있다. 냉난방 부하정보에는 기존 히트펌프를 이용하는 이용 측 수온 및 유량, 실외 온/습도 등 실내의 열 환경정보가 포함될 수 있다. 히트펌프 제어정보에는 히트펌프 기동, 정지 및 가동율 등 히트펌프 가동상태정보가 포함될 수 있다. 제품성능정보에는 각 히트펌프의 운전환경에서 측정된 냉난방 용량 및 냉난방 성적계수 등 예측대상정보가 포함될 수 있다. 인공지능망의 입력 및 출력정보들은 사용자 요구 조건에 따라 에너지관리시스템(energy management system, EMS) 또는 히트펌프의 내장센서(built-in sensor)를 통해 수집되거나, 챔버장치를 활용한 표준시험환경(챔버시험환경)에서 수집될 수 있다.
- [0042] 상기 표준시험환경에서 운전기록데이터를 수집하기 위한 챔버장치(10)는, 도 6에 도시된 바와 같이, KS (Korean Standards) B 6275:2018, KS B 8292:2015, ISO (International Organization for Standardization) 14511-2 등 국내외 표준시험규격을 기초로 하며, 기존 히트펌프가 설치되는 실외 측 챔버(11), 실내 측 수조(12), 열원 측 수열교환기(13), 실내 측 수조(12)의 입구에 설치된 제1 유량조절밸브(14), 제1 유량조절밸브(14) 및 열원 측 수열교환기(13)의 출구 사이에 설치된 제1 온도계(15), 실내 측 수조(12)의 출구에 설치된 제2 유량조절밸브(16), 및 제2 유량조절밸브(16)와 열원 측 수열교환기(13)의 입구 사이에 설치된 제2 온도계(17)를 포함할 수 있다.
- [0043] 상기 기존 히트펌프 데이터 수집부(200)는, 이러한 표준시험환경에서의 챔버장치(10)를 이용하여 학습데이터 내에 실내의 열 환경의 다양성을 포함시키기 위해 실내 냉난방 부하 및 실외 냉난방 부하를 각각 변화시킬 수 있도록, 도 7에 도시된 바와 같이 실내 측 수조(12)의 입구 수온 및 물 유량과, 열원 측 수열교환기(13)의 실외 측 건구온도, 실내 측 건구온도, 열원 측 물 온도 및 열원 측 물 유량에 대한 시계열 방식 및 비시계열 방식 중 적어도 하나의 방식으로 추종 제어를 각각 실시함으로써 실내 및 실외 열 환경의 동적 변화를 통해 실내 측 수조(12)로의 기존 히트펌프의 공급 열량 산출에 필요한 정보인 물의 입출구 온도차 및 유량정보를 수집할 수 있다.
- [0044] 한편, 기존 히트펌프 데이터 수집부(200)를 통해 수집되는 입력정보 샘플은 인공지능망의 입력 차원이 작은 경우에는 요인배치법(factorial design)을 활용하여 생성하고, 인공지능망 입력 차원이 큰 경우에는 라틴 하이퍼큐브 샘플링(Latin hypercube sampling) 및 소볼 수열(Sobol sequence)을 포함한 몬테카를로 방법(Monte Carlo method) 또는 준-몬테카를로 방법(quasi-Monte Carlo method)을 적용하여 생성될 수 있다. KS B 6275:2018을 기준으로 실시한 경우 상기한 챔버시험에서의 총 냉방 용량, 총 난방 용량, 냉방 성적계수 및 난방 성적계수 산출 방법은 하기의 수학적식과 같이 각각 정리될 수 있다.

[0045] [수학식 1]

[0046]
$$\phi_{cw1} = C_{pw} q_{mw1} (t_{w11} - t_{w12})$$

[0047] 수학식 1에서, ϕ_{cw1} 는 각각 총 냉방용량(W)이고, C_{pw} 는 물 비열(J/kg/K)이고, q_{mw1} 는 이용 측 수열교환기의 유량(kg/s)이고, t_{w11} 과 t_{w12} 는 각각 이용 측 열 교환기의 입구 온도(K) 및 출구 온도(K)를 나타낸 것이다.

[0048] [수학식 2]

[0049]
$$\phi_{hw2} = C_{pw} q_{mw1} (t_{w12} - t_{w11})$$

[0050] 수학식 2에서, ϕ_{hw2} 는 총 난방 용량(W)이고, C_{pw} 는 물 비열(J/kg/K)이고, q_{mw1} 는 이용 측 수열교환기의 유량(kg/s)이고, t_{w12} 과 t_{w11} 는 각각 이용 측 열 교환기의 출구 온도(K) 및 입구 온도(K)를 나타낸 것이다.

[0051] [수학식 3]

[0052]
$$COP_c = \frac{\text{냉방 용량 (W)}}{\text{소비 전력 (W)}}$$

[0053] 수학식 3에서 COP_c 는 냉방 성적계수(W/W)를 나타낸 것이다.

[0054] [수학식 4]

[0055]
$$COP_h = \frac{\text{난방용량 (W)}}{\text{소비전력 (W)}}$$

[0056] 수학식 4에서, COP_h 는 난방 성적계수(W/W)를 나타낸 것이다.

[0057] 상기 기존 히트펌프 데이터베이스 구축부(200)는, 기존 히트펌프로부터 수집된 운전기록데이터를 기초로 기존 히트펌프 성능 예측을 위한 인공신경망의 입력데이터와 출력데이터를 갖는 데이터베이스를 구축할 수 있다.

[0058] 상기 기존 히트펌프 데이터베이스 구축부(200)는, 기존 히트펌프 데이터 수집부(100)를 통해 수집된 운전기록데이터를 기초로 인공신경망의 입력데이터와 출력데이터를 행렬 형태의 데이터베이스를 구축하되, 입력데이터와 출력데이터의 각 행을 단일시험에 대응되도록 구성하고, 각 열을 인공신경망의 입출력 변수에 대응되도록 구성하여 인공신경망 학습에 필요한 데이터베이스를 구축할 수 있다. 이때, 데이터베이스는 도 8에 도시된 바와 같이 인공신경망의 훈련을 위한 훈련용 데이터베이스와 인공신경망의 훈련 후 검증을 위한 검증용 데이터베이스로 분리되어 구성될 수 있다. 여기서, 훈련용 데이터베이스 및 검증용 데이터베이스의 비율은 사용자 별로 달리 설정할 수 있으나, 80:20 또는 70:30 비율(%)로 설정되는 것이 바람직하며, 훈련용 데이터베이스를 이용하여 인공신경망을 훈련하되, 인공신경망의 예측 단계에서 드랍아웃(dropout)이 가능하도록 설정하는 것이 바람직하다.

[0059] 상기 기존 히트펌프 성능 예측부(130)는, 기존 히트펌프 데이터베이스 구축부(200)를 통해 구축된 데이터베이스(훈련용, 검증용 데이터베이스)를 기반으로 인공신경망의 훈련 및 예측 과정을 수행하되, 해당 예측 과정에서 인공신경망 예측 샘플을 생성하고, 인공신경망 예측 샘플을 기초로 신규 히트펌프 성능 예측에 대한 불확실성 분석 과정을 수행하여 인공신경망 예측 샘플의 평균 백터를 도출할 수 있다.

[0060] 이를 위해 기존 히트펌프 성능 예측부(130)는 도 8에 도시된 바와 같이, 인공신경망 훈련 수행부(310), 인공신경망 예측 샘플 생성부(320) 및 예측 불확실성 분석부(330) 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.

[0061] 상기 인공신경망 훈련 수행부(310)는, 훈련용 데이터베이스를 이용한 인공신경망의 훈련을 수행할 수 있으며, 훈련용 데이터베이스에 구성된 입출력 데이터를 이용하여 기존 히트펌프 성능에 대한 예측 훈련을 실시할 수 있다.

[0062] 상기 인공신경망 예측 샘플 생성부(320)는, 인공신경망 훈련 수행부(310)를 통한 훈련 완료 후 인공신경망의 예측 과정을 수행하고, 예측 수행 과정에서 인공신경망 뉴런의 일부를 무작위로 누락시키는 몬테카를로 드랍아웃(Monte Carlo dropout) 기술을 병행하여 예측 불확실성 분석을 수행하기 위한 인공신경망 예측 샘플을 생성할

수 있다.

- [0063] 여기서, 드랍아웃은, 인공신경망 연산 과정에서 신경망 뉴런의 일부를 무작위로 누락시키는 기술로서, 이러한 기술을 활용하면 인공신경망의 일반화 (generalization) 성능이 개선됨과 동시에 인공신경망에 내재된 예측 불확실성 (predictive uncertainty) 역시 추정할 수 있다. 이러한 드랍아웃은 몬테카를로 드랍아웃(Monte Carlo dropout)이라고 하며, 인공신경망의 예측 단계에서 몬테카를로 드랍아웃을 적용하는 것은 기존의 인공신경망을 가우시안 과정으로 근사(Gaussian process approximation)시키는 것과 같으므로, 예측 불확실성 분석이 가능한 신경망 (deep Gaussian process model, 확률모델)을 도출할 수 있다. 몬테카를로 드랍아웃의 하이퍼 파라미터는 드랍아웃 확률(0-1)이며, 이에 대해 학계 권장치인 0.5(50%)를 적용하는 것이 바람직하다.
- [0064] 상술한 바와 같이 인공신경망 훈련을 마친 후, 검증용 데이터베이스를 이용하여 인공신경망 예측 과정을 수행하는데, 이러한 예측 과정을 수행하면서 몬테카를로 드랍아웃을 병행하고, 예측 과정을 충분히 반복(100회 이상)하여 예측 불확실성 분석을 위한 신경망 예측 샘플을 생성할 수 있다.
- [0065] 상기 예측 불확실성 분석부(330)는, 인공신경망 예측 샘플을 기초로 인공신경망의 출력 변수에 대한 분산 및 출력변수 간 공분산을 추정하는 과정을 통해 상기 평균 벡터를 도출하여 신규 히트펌프 성능의 예측 불확실성을 정량화할 수 있다. 예측 불확실성 분석 과정은 인공신경망 예측 샘플을 이용하여 각 출력변수의 분산(variance) 및 출력변수 간 공분산(covariance)을 각 입력 샘플 별로 도출하는 것과 같으며, 인공신경망 예측 샘플의 평균 벡터는 기존 히트펌프 성능 예측부(300)의 출력정보로 활용 가능하다.
- [0066] 이러한 기존 히트펌프 성능 예측부(300)는, 해당 시스템 사용 목적에 따라 도 9에 도시된 바와 같이 제품 자체 성능 예측 방법과, 도 10에 도시된 바와 같이 표준시험조건에서 측정된 성능 예측 방법으로 구분될 수 있다.
- [0067] 상기 신규 히트펌프 데이터 수집부(400)는, 표준시험환경의 챔버장치를 활용하여 신규 히트펌프의 측정데이터(입출력데이터)를 수집할 수 있으며, 표준시험환경의 챔버장치를 활용한 신규 측정데이터를 수집하는 방법은 상술한 표준시험환경에서의 데이터 수집방법과 대동소이하므로 그에 따른 상세한 설명은 생략한다.
- [0068] 상기 전이학습 수행부(500)는, 데이터베이스의 입력데이터 및 기존 히트펌프 성능 예측부(300)의 평균 벡터를 출력데이터로 포함하는 시스템 초기정보를 구축하고, 시스템 초기정보에 신규 히트펌프의 측정데이터를 결합할 수 있다.
- [0069] 상술한 바와 같이, 신규 히트펌프 제품에 대해 적은 횟수의 챔버시험을 수행하여 최소한의 인공신경망 학습 데이터를 수집한 다음, 예측 문제 유형을 고려하여 인공신경망 아키텍처를 선정 후 이에 대응되는 일반화된 히트펌프 예측 모델(기존 히트펌프 경험지식의 입출력 구조)을 시스템의 초기정보로 반영할 수 있는데 이때, 입력데이터에 대한 시계열 데이터와 비시계열 데이터를 구분하여 그에 대한 특징데이터를 추출한 후, 그에 따른 시스템의 초기정보를 업데이트 할 수 있다.
- [0070] 이를 위해 전이학습 수행부(500)는 도 11에 도시된 바와 같이, 시계열 특징 데이터 추출부(510), 비시계열 특징 데이터 추출부(520) 및 인공신경망 업데이트 수행부(530) 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.
- [0071] 상기 시계열 특징 데이터 추출부(510)는, 기 구축된 시계열 인공신경망(timeseries neural network)을 이용하여 신규 히트펌프의 측정데이터로부터 입력 시계열 데이터와 출력 시계열 데이터를 포함하는 시계열 특징 데이터를 추출할 수 있다.
- [0072] 상기 시계열 인공신경망(timeseries neural network)은, 도 12에 도시된 바와 같이 특징을 추출하는 합성곱 레이어(511, convolution layer)와 마지막 합성곱 레이어의 출력단부터 신경망 출력 레이어(output layer)까지 완전 결합되는 전 결합 레이어(513, fully connected layer)의 결합 구조를 가질 수 있다. 합성곱 레이어(511)는 데이터 필터의 일종으로, 해당 레이어에 인가된 입력정보로부터 특징을 추출하고, 여러 층을 가질 수 있고, 신경망 구조가 깊어짐에 따라(합성곱 레이어의 수가 늘어남에 따라) 증가되는 연산을 줄이기 위해 데이터 압축 레이어인 풀링 레이어 (512, Pooling layer)가 수반될 수 있다.
- [0073] 상기 비시계열 특징 데이터 추출부(520)는, 신규 히트펌프의 측정데이터 중 비시계열 데이터로 분류된 데이터의 경우 특정 시간에 기록된 데이터로 간주하여 기 구축된 비시계열 인공신경망(non-timeseries neural network)을 통해 입력 비시계열 데이터와 출력 비시계열 데이터를 포함하는 비시계열 특징 데이터를 추출할 수 있다.
- [0074] 이와 같이 비시계열 예측 문제의 경우, 각 입력 세트는 특정 시간에서 기록된 신경망 입출력 샘플에 해당되며, 시계열 인공신경망 문제와는 달리 시계열 패턴을 추출하는 과정이 요구되지 않는다. 이에 따라, 도 13에 도시된

바와 같이 비시계열 신경망(non-timeseries neural network)은 100% 전 결합 레이어(521)로 구성될 수 있다.

- [0075] 상기 인공신경망 업데이트 수행부(530)는, 시스템 초기정보를 기반으로 신규 히트펌프 성능 예측을 위한 인공신경망 학습을 수행하되, 시계열 특징 데이터와 비시계열 특징 데이터를 이용하여 인공신경망의 뉴런 가중치를 미세 조정(fine tuning)하는 전이학습을 통해 인공신경망의 업데이트를 수행할 수 있다.
- [0076] 상기 인공신경망 업데이트 수행부(530)는, 시계열 인공신경망에서 뉴런의 위치가 시계열 인공신경망의 입력 레이어에 가까울수록 시계열 인공신경망의 업데이트를 미리 설정된 기준 업데이트 수준 보다 상대적으로 낮게 설정하여 수행하고, 시계열 인공신경망의 뉴런의 위치가 시계열 인공신경망의 출력 레이어에 가까울수록 시계열 인공신경망의 업데이트를 미리 설정된 기준 업데이트 수준 보다 높게 설정하여 수행할 수 있으며, 비시계열 인공신경망에서 뉴런의 위치가 출력 레이어에 가까울수록 비시계열 인공신경망의 업데이트를 미리 설정된 기준 업데이트 수준보다 높게 설정하여 수행할 수 있다.
- [0077] 본 일 실시예에 따른 신규 히트펌프 측정데이터는 기존 히트펌프 성능 예측 기능을 업데이트하는 과정에서 관측 정보로 역할을 하고, 해당 업데이트는 기존 데이터로부터 미리 학습한 인공신경망의 가중치를 미세조정(fine tuning)하는 것과 같다. 다만, 미세조정 과정에서 이미 축적된 히트펌프 정보가 과도하게 소실 또는 왜곡되는 것을 방지해야 하므로, 인공신경망 가중치는 기존 정보의 포함 정도를 고려하여 차별적으로 업데이트 되도록 하는 것이 바람직하다.
- [0078] 통상적으로, 히든 레이어(합성곱 레이어, 풀링 레이어, 전 결합 레이어 등)가 입력 레이어에 가까울수록 학습 데이터 내 일반화된 정보(저급 특징)가 많이 반영되어 있으며, 이와 반대로 히든 레이어가 입력 레이어에서 멀어질수록 학습 데이터 내 특수화된 정보(고급 특징)가 많이 반영되어 있다. 기존 히트펌프의 사용경험지식을 재 활용하여 신규 히트펌프 측정데이터의 부족 문제를 보완하는 것이 주 목적임을 고려해 볼 때, 뉴런의 위치가 입력 레이어에 가까울수록 낮은 수준으로 업데이트하는 것이 바람직하다.
- [0079] 또한, 시계열 예측 문제의 경우, 데이터 특징을 추출하는 합성곱 레이어(511)에 대해서는 낮은 수준으로 업데이트하여 초기 정보를 최대한 활용하고, 예측 레이어에 해당하는 전 결합 레이어(513)에 대해서는 높은 수준으로 업데이트하여 신규 데이터에 포함된 정보를 적극 반영할 수 있도록 한다. 그리고, 비시계열 예측 문제의 경우, 뉴런 위치가 출력 레이어에 가까울수록 업데이트 수준을 높게 설정할 수 있다.
- [0080] 상기 신규 히트펌프 성능 예측부(600)는, 전이학습 수행부(500)를 통해 제공되는 학습데이터(입출력데이터)를 기반으로 신규 히트펌프에 대한 성능을 보다 정확히 예측할 수 있다.
- [0081] 도 14는 본 발명의 일 실시예에 따른 신규 히트펌프 성능 예측 시스템과 신규 제품(히트펌프) 간 연동 프로세스와 구성을 나타낸 블록도이다.
- [0082] 도 14를 참조하면, 신규 히트펌프 성능 예측 시스템은 별도의 단말기(331)에 프로그램 형태로 탑재 가능하며, 해당 단말기와 신규 히트펌프 제품의 내장 센서 및 제품 제어부가 유선 또는 무선으로 통신하여 성능 예측 결과를 사용자에게 실시간으로 제공할 수 있도록 구현 가능하다.
- [0083] 도 15는 본 발명의 다른 실시예에 따른 신규 히트펌프 성능 예측 방법의 구성을 나타낸 순서도이다.
- [0084] 도 1과 함께 도 15를 참조하면, 본 발명의 다른 실시예에 따른 신규 히트펌프 성능 예측 방법(S1000)은, 기존 히트펌프 데이터 수집부(100)가, 사용현장에서 기존 히트펌프의 내장센서로부터 측정된 운전기록데이터 및 기존 히트펌프에 대한 표준시험환경에서 챔버장치를 통해 측정된 운전기록데이터를 중 적어도 하나를 수집하여 기존 히트펌프 데이터베이스 구축부(200)로 제공하는 기존 히트펌프 데이터 수집 단계(S100); 기존 히트펌프 데이터베이스 구축부(200)가, 기존 히트펌프로부터 수집된 운전기록데이터를 기초로 기존 히트펌프 성능 예측을 위한 인공신경망의 입력데이터와 출력데이터를 갖는 데이터베이스를 구축하는 기존 히트펌프 데이터베이스 구축 단계(S200); 기존 히트펌프 성능 예측부(300)가, 데이터베이스를 기반으로 인공신경망의 훈련 및 예측 과정을 수행하되, 예측 과정에서 인공신경망 예측 샘플을 생성하고, 인공신경망 예측 샘플을 기초로 신규 히트펌프 성능 예측에 대한 불확실성 분석 과정을 수행하여 인공신경망 예측 샘플의 평균 백터를 도출하는 기존 히트펌프 성능 예측 단계(S300); 신규 히트펌프 데이터 수집부(400)가, 표준시험환경의 챔버장치를 활용하여 신규 히트펌프의 측정데이터를 수집하는 신규 히트펌프 데이터 수집 단계(S400); 전이학습 수행부(500)가, 데이터베이스의 입력 데이터 및 기존 히트펌프 성능 예측 단계의 평균 백터를 출력데이터로 포함하는 시스템 초기정보를 구축하고, 시스템 초기정보에 신규 히트펌프의 측정데이터를 결합하는 전이학습을 수행하는 전이학습 수행 단계(S500); 및 신규 히트펌프 성능 예측부(600)가, 전이학습 수행 단계(S500)를 통해 제공되는 학습데이터를 기반으로 신규 히

트럼프에 대한 성능을 예측하는 신규 히트펌프 성능 예측 단계(S600)를 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.

[0085] 본 발명의 다른 실시예에 따른 신규 히트펌프 성능 예측 방법(S1000) 상술한 시스템(1000)의 구성과 대동소이하므로, 그에 대한 상세한 설명은 생략한다.

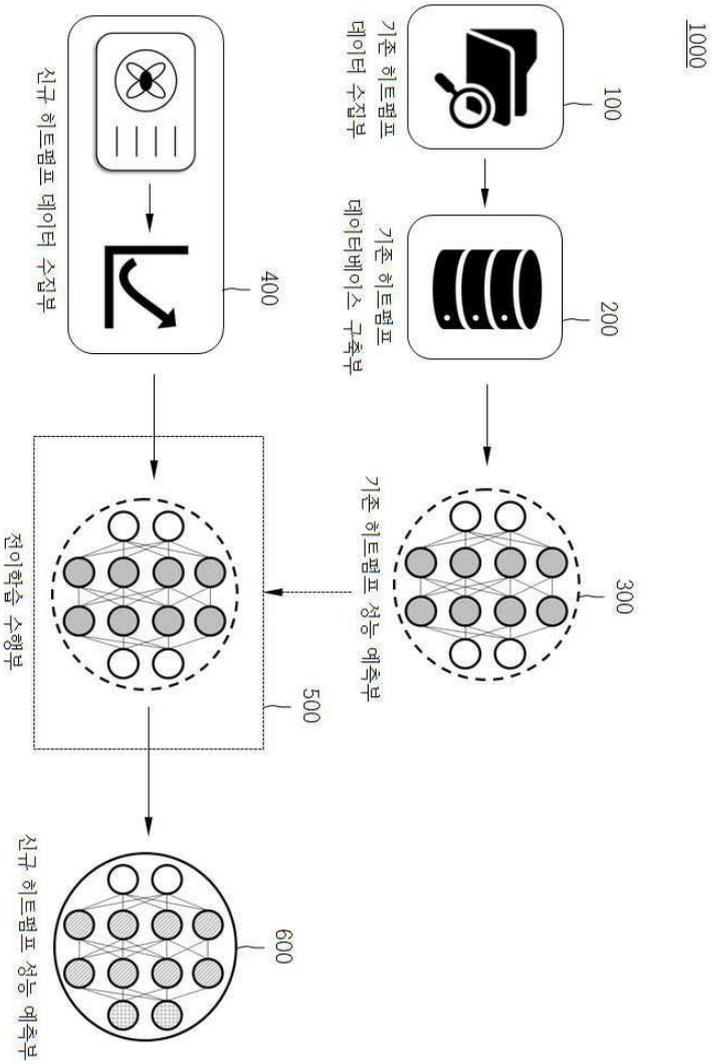
[0086] 이상에서 설명한 것은 본 발명에 의한 기존 제품의 사용경험지식과 신규 제품에 대한 소규모 측정데이터의 전이 학습을 이용한 신규 히트펌프 성능 예측 시스템 및 그 방법을 실시하기 위한 하나의 실시예에 불과한 것으로서, 본 발명은 상기 실시예에 한정되지 않고, 이하의 특허청구범위에서 청구하는 바와 같이 본 발명의 요지를 벗어남이 없이 당해 발명이 속하는 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 누구든지 다양한 변경 실시가 가능한 범위까지 본 발명의 기술적 정신이 있다고 할 것이다.

부호의 설명

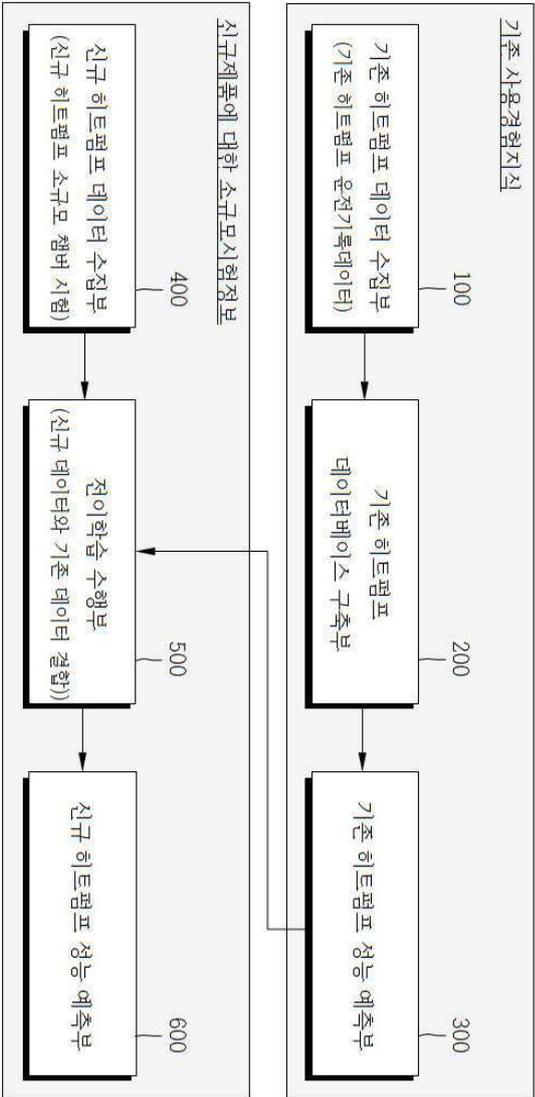
- [0087] 1000: 신규 히트펌프 성능 예측 시스템
 100: 기존 히트펌프 데이터 수집부
 110: 이용 측 추종 제어부
 120: 열원 측 추종 제어부
 200: 기존 히트펌프 데이터베이스 구축부
 300: 기존 히트펌프 성능 예측부
 310: 인공지능망 훈련 수행부
 320: 인공지능망 예측 샘플 생성부
 330: 예측 불확실성 분석부
 400: 신규 히트펌프 데이터 수집부
 500: 전이학습 수행부
 510: 시계열 특징 데이터 추출부
 511: 합성곱 레이어
 512: 풀링 레이어
 513: 전 결합 레이어
 520: 비시계열 특징 데이터 추출부
 521: 전 결합 레이어
 530: 인공지능망 업데이트 수행부
 600: 신규 히트펌프 성능 예측부
 10: 챔버장치
 11: 실외 측 챔버
 12: 실내 측 수조
 13: 열원 측 수열교환기
 14: 제1 유량조절밸브
 15: 제1 온도계
 16: 제2 유량조절밸브
 17: 제2 온도계
 B: 유량계

도면

도면1

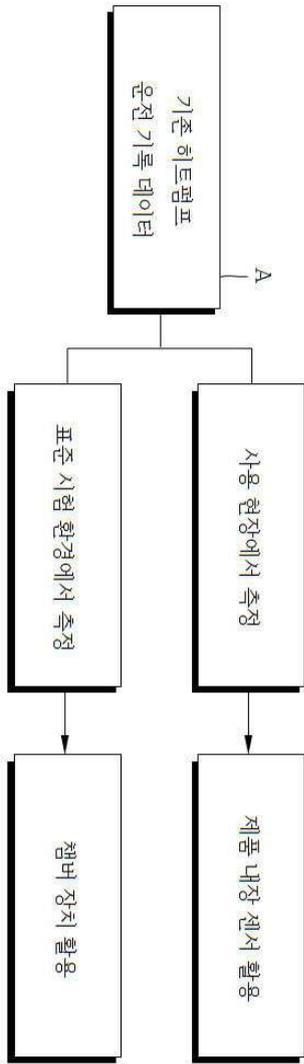


도면2



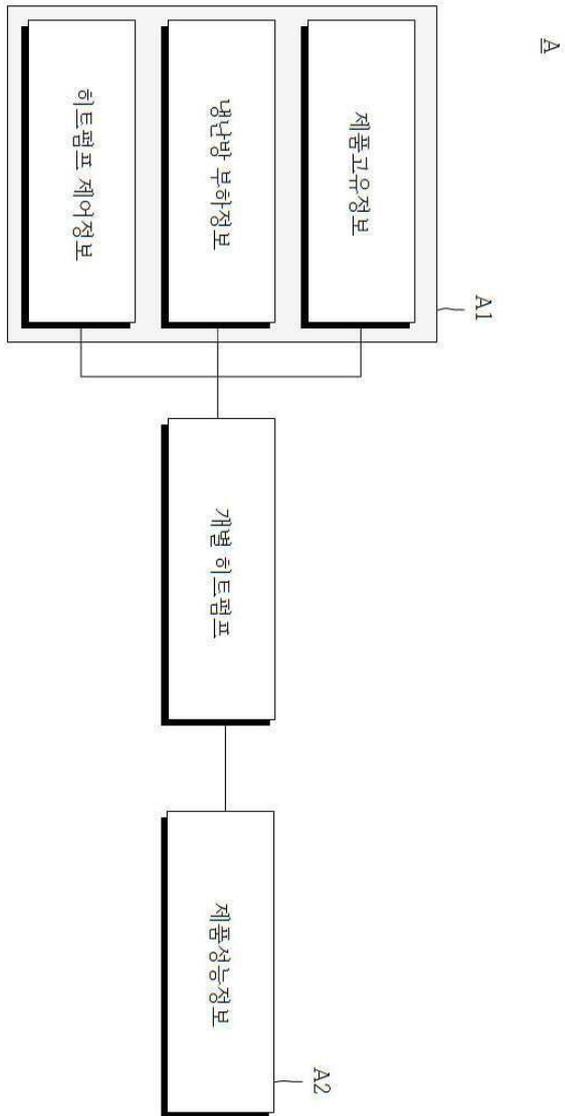
1000

도면3

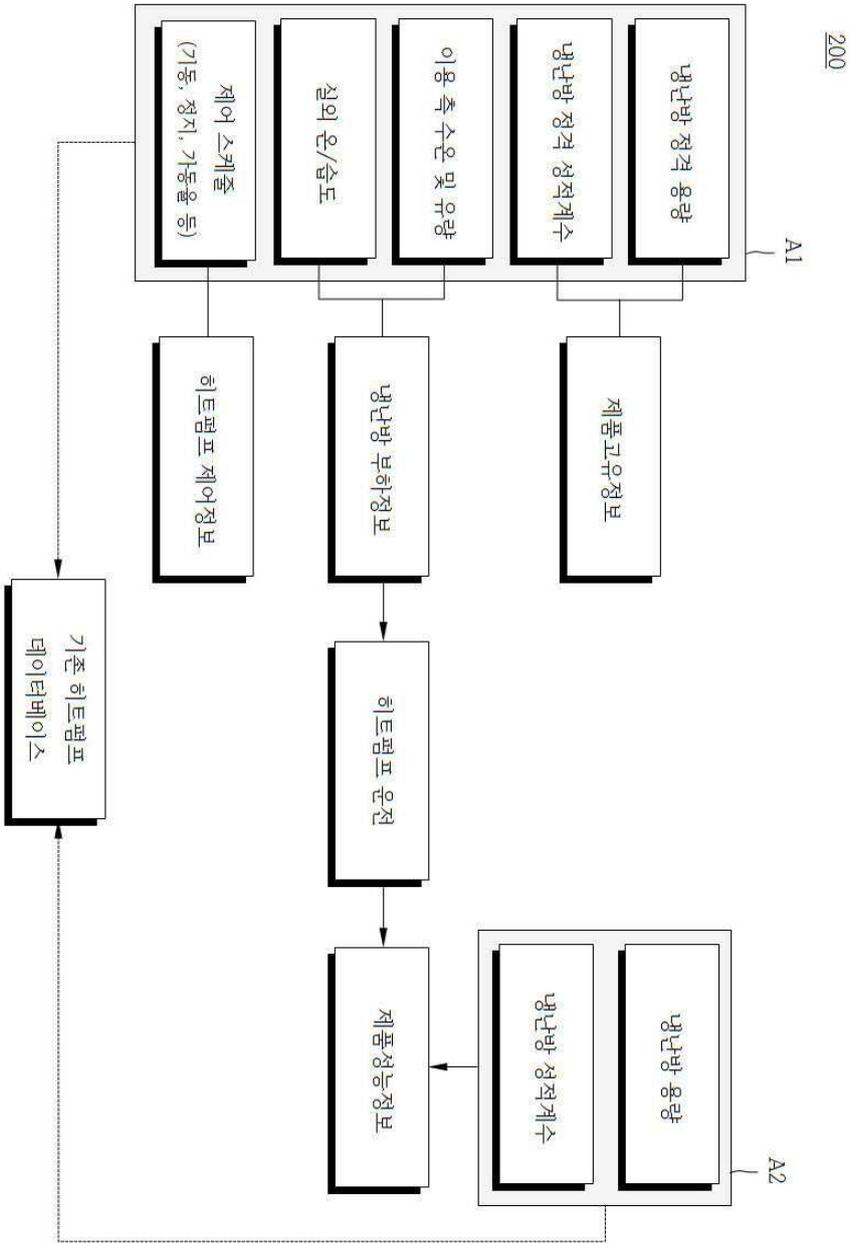


100

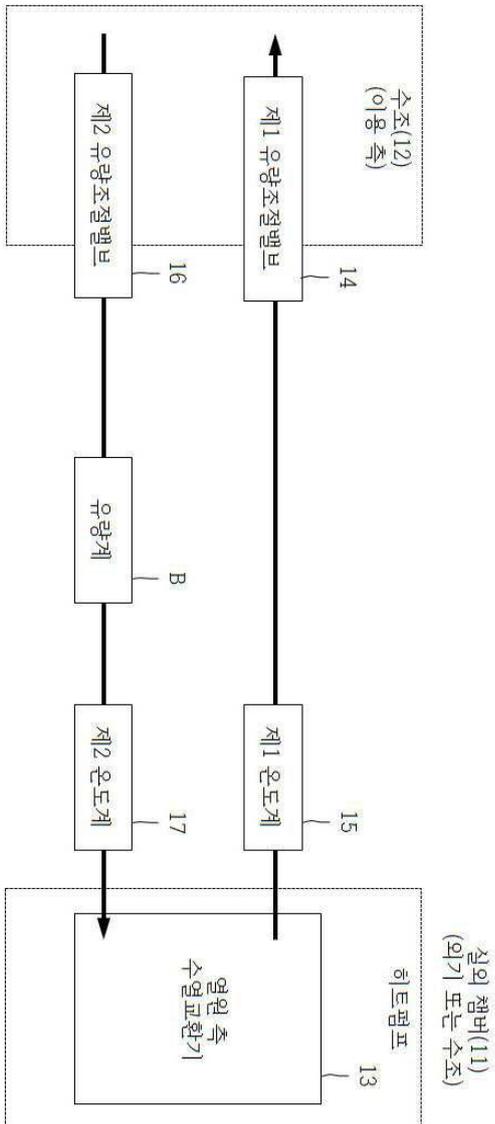
도면4



도면5



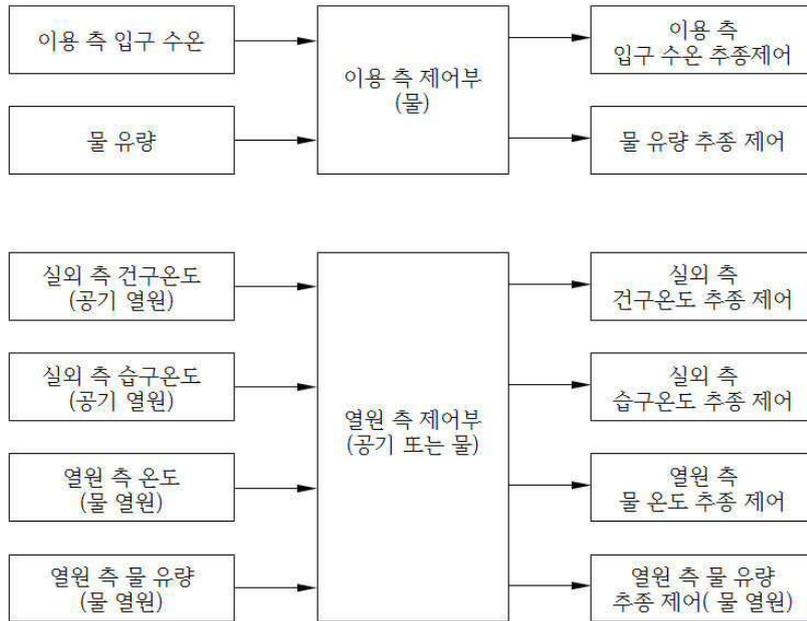
도면6



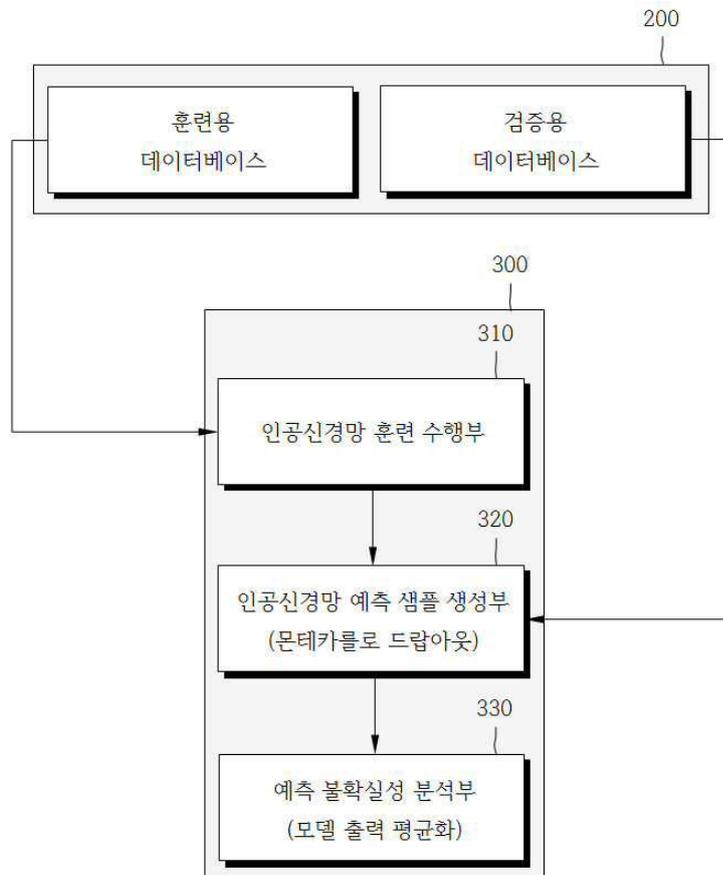
10

도면7

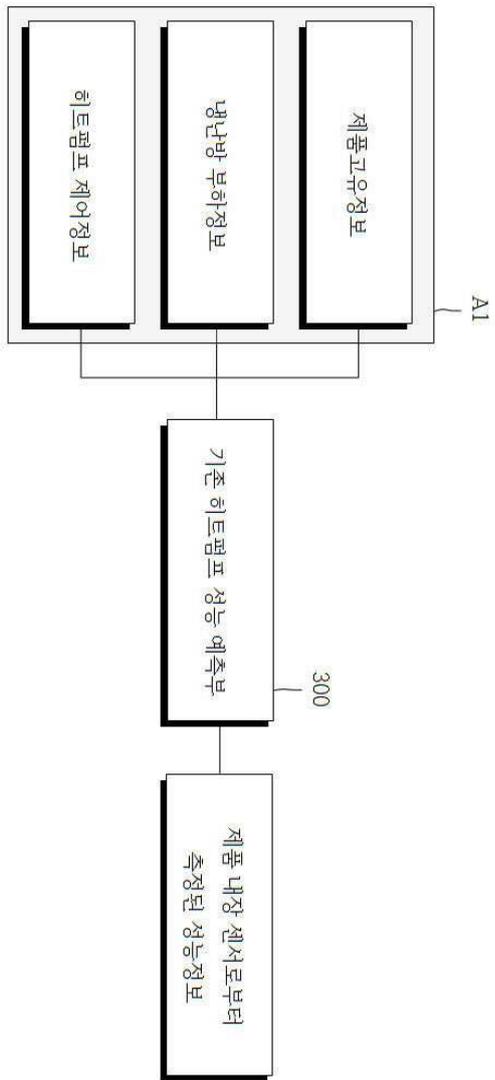
200



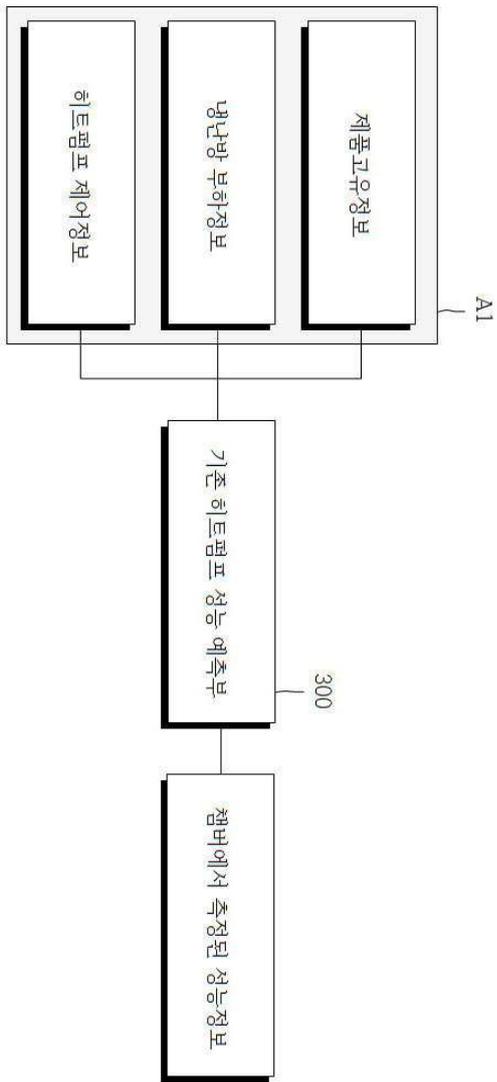
도면8



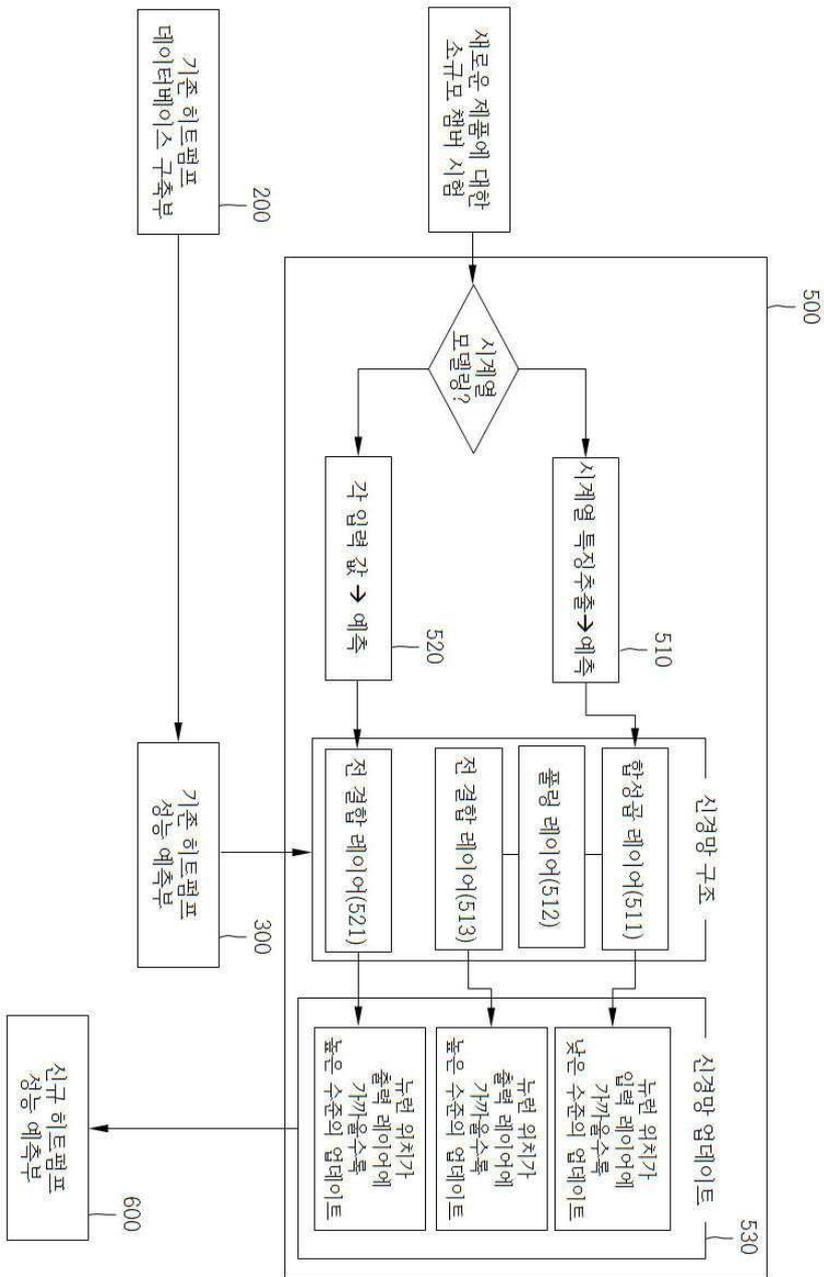
도면9



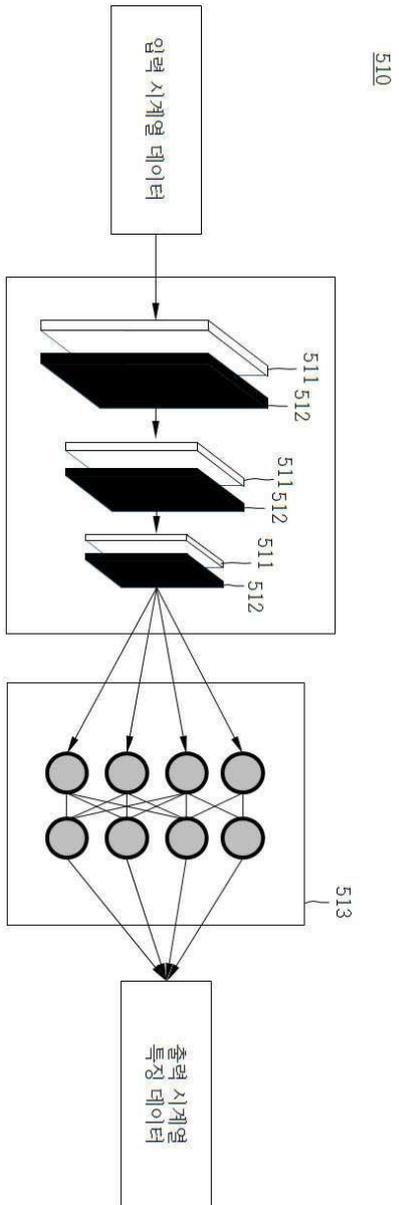
도면10



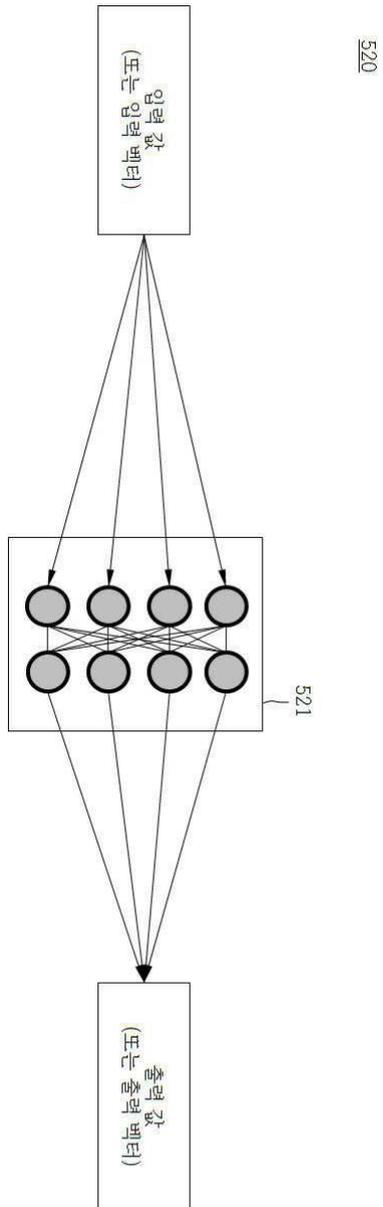
도면11



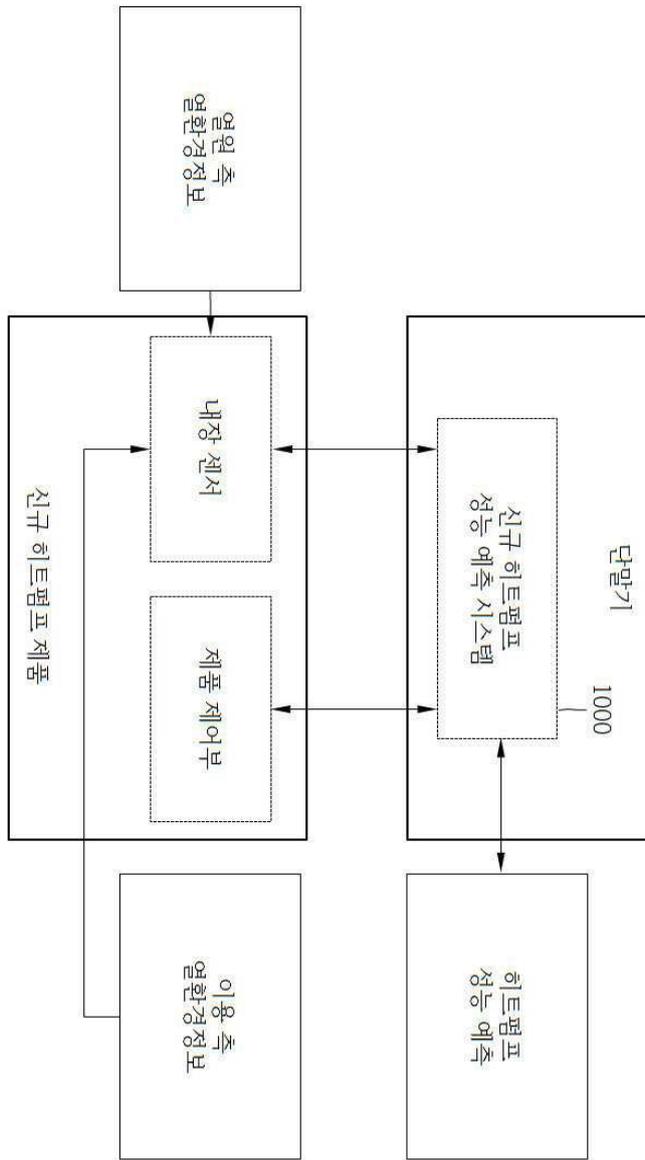
도면12



도면13



도면14



도면15

S1000

