



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0036333
(43) 공개일자 2024년03월20일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G06F 11/34 (2006.01) G06F 11/32 (2006.01)
G06F 111/04 (2020.01) G06F 30/27 (2020.01)
G06F 30/28 (2020.01) G06N 3/12 (2023.01)
G06T 17/00 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G06F 11/3457 (2013.01)
G06F 11/321 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2022-0115021
(22) 출원일자 2022년09월13일
심사청구일자 2022년09월13일

(71) 출원인
인하대학교 산학협력단
인천광역시 미추홀구 인하로 100(용현동, 인하대학교)
(72) 발명자
황성원
인천광역시 연수구 아카데미로312번길 177, 104동 2002호(송도동, 힐스테이트 레이크 송도)
델라렐메
인천광역시 미추홀구 재념이길123번길 31-15, 103호(학익동)
(74) 대리인
특허법인태백

전체 청구항 수 : 총 10 항

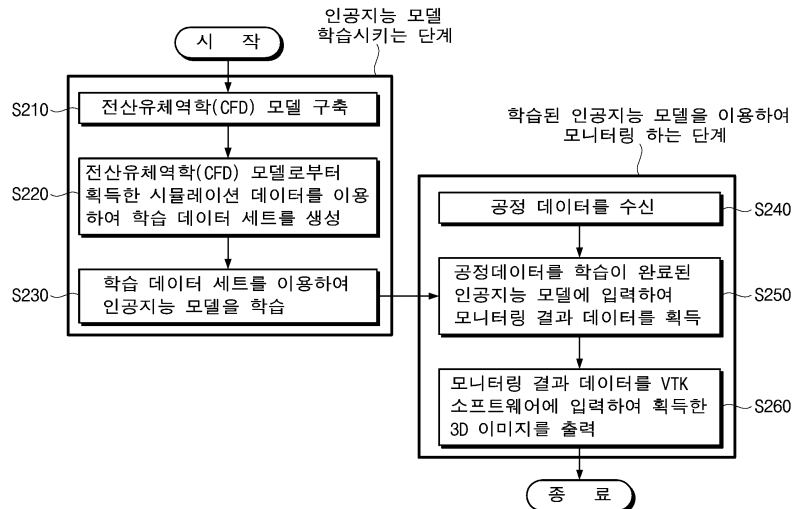
(54) 발명의 명칭 유체전산해석 및 인공지능을 기반으로 하는 화공장치의 모니터링 시스템 및 그 방법

(57) 요약

본 발명은 유체전산해석 및 인공지능을 기반으로 하는 화공장치의 모니터링 시스템 및 그 방법에 관한 것이다.

본 발명에 따르면, 화공장치의 모니터링 시스템은 작동 조건, 물 분율 및 촉매를 포함하는 입력 매개 변수를 이용하여 전산유체역학(CFD) 모델로부터 복수의 데이터 세트를 획득하는 데이터 세트 생성부, 상기 획득한 복수의 데이터 세트를 이용하여 인공지능 모델을 학습시키는 학습부, 사용자로부터 공정 데이터를 입력받는 데이터 입력부, 입력된 공정데이터를 학습이 완료된 인공지능 모델에 입력하여 모니터링 결과 데이터를 획득하는 예측부, 그리고 상기 획득한 모니터링 결과 데이터를 이용하여 농도 및 온도의 차이를 추출하고, 차이가 발생된 것으로 판단되면 장치 내에 변동이 발생된 것으로 예측하여 상기 모니터링 결과 데이터를 시각화 소프트웨어에 입력하여 획득한 3D 이미지를 출력하는 출력부를 포함한다.

대표도 - 도2



(52) CPC특허분류

G06F 30/27 (2020.01)

G06F 30/28 (2020.01)

G06N 3/126 (2023.01)

G06T 17/00 (2013.01)

G06F 2111/04 (2020.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1415177443
과제번호	P0008475
부처명	산업통상자원부
과제관리(전문)기관명	한국산업기술진흥원
연구사업명	산업혁신인재성장지원(R&D)
연구과제명	스마트디지털엔지니어링 전문인력양성
기 여 율	1/1
과제수행기관명	서울대학교산학협력단
연구기간	2021.03.01 ~ 2022.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

작동 조건, 물 분율 및 촉매를 포함하는 입력 매개 변수를 이용하여 전산유체역학(CFD) 모델로부터 복수의 데이터 세트를 획득하는 데이터 세트 생성부,

상기 획득한 복수의 데이터 세트를 이용하여 인공지능 모델을 학습시키는 학습부,

사용자로부터 공정 데이터를 입력받는 데이터 입력부,

입력된 공정데이터를 학습이 완료된 인공지능 모델에 입력하여 모니터링 결과 데이터를 획득하는 예측부, 그리고

상기 획득한 모니터링 결과 데이터를 이용하여 농도 및 온도의 차이를 추출하고, 차이가 발생된 것으로 판단되면 장치 내에 변동이 발생된 것으로 예측하여 상기 모니터링 결과 데이터를 시각화 소프트웨어에 입력하여 획득한 3D 이미지를 출력하는 출력부를 포함하는 화공 장치의 모니터링 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서,

질량 연속성, 운동량 보존, 에너지 절약 및 종 수송 방정식이 적용된 전산유체역학(CFD) 모델을 구축하는 전산유체역학(CFD) 모델 구축부를 더 포함하는 화공 장치의 모니터링 시스템.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 인공지능 모델은,

유전 알고리즘을 통해 하이퍼파라미터를 조합하고, 조합된 하이퍼파라미터를 이용하여 구성되며,

상기 하이퍼파라미터는,

뉴런의 수, 에폭 수, 뉴런의 수, 활성화 함수의 수, 손실 함수의 종류, 학습률, 옵티마이저(optimizer)를 포함하는 화공 장치의 모니터링 시스템.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 데이터 입력부는,

사용자로부터 압력이나 부타디엔, 부텐, 산소 및 이산화탄소의 농도 중에서 적어도 하나의 매개변수를 입력받는 화공 장치의 모니터링 시스템.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 예측부는,

X,Y,Z의 좌표값과, 튜브 및 셸 측 온도 분포, 부타디엔, 부텐, 산소 및 이산화탄소 농도 중에서 적어도 하나를 포함하는 모니터링 결과 데이터를 획득하는 화공 장치의 모니터링 시스템.

청구항 6

모니터링 시스템을 이용한 화공 장치의 모니터링 방법에 있어서,

작동 조건, 물 분율 및 촉매를 포함하는 입력 매개 변수를 이용하여 전산유체역학(CFD) 모델로부터 복수의 데이터 세트를 획득하는 단계,

상기 획득한 복수의 데이터 세트를 이용하여 인공지능 모델을 학습시키는 단계,

사용자로부터 공정 데이터를 입력받는 단계,

입력된 공정데이터를 학습이 완료된 인공지능 모델에 입력하여 모니터링 결과 데이터를 획득하는 단계, 그리고

상기 획득한 모니터링 결과 데이터를 이용하여 농도 및 온도의 차이를 추출하고, 차이가 발생된 것으로 판단되면 장치 내에 변동이 발생된 것으로 예측하여 상기 모니터링 결과 데이터를 시각화 소프트웨어에 입력하여 획득한 3D 이미지를 출력하는 단계를 포함하는 화공 장치의 모니터링 방법.

청구항 7

제6항에 있어서,

질량 연속성, 운동량 보존, 에너지 절약 및 종 수송 방정식이 적용된 전산유체역학(CFD) 모델을 구축하는 단계를 더 포함하는 화공 장치의 모니터링 방법.

청구항 8

제6항에 있어서,

상기 인공지능 모델은,

유전 알고리즘을 통해 하이퍼파라미터를 조합하고, 조합된 하이퍼파라미터를 이용하여 구성되며,

상기 하이퍼파라미터는,

뉴런의 수, 에폭 수, 뉴런의 수, 활성화 함수의 수, 손실 함수의 종류, 학습률, 옵티마이저(optimizer)를 포함하는 화공 장치의 모니터링 방법.

청구항 9

제6항에 있어서,

상기 공정 데이터를 입력받는 단계는,

사용자로부터 압력이나 부타디엔, 부텐, 산소 및 이산화탄소의 농도 중에서 적어도 하나의 매개변수를 입력받는 화공 장치의 모니터링 방법.

청구항 10

제6항에 있어서,

상기 모니터링 결과 데이터를 획득하는 단계는,

X,Y,Z의 좌표값과, 튜브 및 셸 측 온도 분포, 부타디엔, 부텐, 산소 및 이산화탄소 농도 중에서 적어도 하나를 포함하는 모니터링 결과 데이터를 획득하는 화공 장치의 모니터링 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 유체전산해석 및 인공지능을 기반으로 하는 화공장치의 모니터링 시스템 및 그 방법에 관한 것으로서, 더욱 상세하게 설명하면 전산유체역학(computational fluid dynamics, CFD) 및 인공지능 알고리즘을 이용하여 화공 장치를 모니터링하는 시스템 및 그 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 사물인터넷, 정보통신 기술, 사이버 물리 시스템이 통합된 4차 산업혁명은 스마트 공장과 첨단 제조업의 발전에

영향을 미치고 있다.

[0003] 최근에는 장치에 대한 프로세스 설계, 모니터링 및 제어를 인공 신경망 기술을 통해 구현을 하기 위하여 여러 연구가 진행되고 있으며, 이러한 새로운 기술은 프로세스 시스템의 효과적인 관리를 위해 고급 프로세스 통합, 시각화 및 제어를 위한 새로운 패러다임 전환을 제공한다.

[0004] 이와 관련하여 현실에서 발생할 수 있는 상황을 컴퓨터로 시뮬레이션 함으로써 결과를 미리 예측하는 디지털 트윈에 대한 연구가 이루어지고 있다. 그러나 종래의 디지털 트윈과 접목한 기술은 실제 프로세스와 원활하게 통합할 수 없다. 또한, 원자료와 같은 중요한 공정 장비의 경우에는 공개 문헌을 이용할 수 없으므로 디지털 트윈과 통합이 불가능하며, 인공지능 모델에 대한 선택이 제한적이므로 계산 비용이 많이 소요되는 문제점이 있었다.

[0005] 본 발명의 배경이 되는 기술은 대한민국 국내공개특허 제2019-0081138호 (2019.07.09. 공개)에 개시되어 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 이와 같이 본 발명에 따르면, 전산유체역학(CFD) 및 인공지능 알고리즘을 이용하여 화공 장치를 모니터링하는 시스템 및 그 방법을 제공하기 위한 것이다.

과제의 해결 수단

[0007] 이러한 기술적 과제를 이루기 위한 본 발명의 실시예에 따르면 화공장치의 모니터링 시스템은 작동 조건, 물 분율 및 촉매를 포함하는 입력 매개 변수를 이용하여 전산유체역학(CFD) 모델로부터 복수의 데이터 세트를 획득하는 데이터 세트 생성부, 상기 획득한 복수의 데이터 세트를 이용하여 인공지능 모델을 학습시키는 학습부, 사용자로부터 공정 데이터를 입력받는 데이터 입력부, 입력된 공정데이터를 학습이 완료된 인공지능 모델에 입력하여 모니터링 결과 데이터를 획득하는 예측부, 그리고 상기 획득한 모니터링 결과 데이터를 이용하여 농도 및 온도의 차이를 추출하고, 차이가 발생된 것으로 판단되면 장치 내에 변동이 발생된 것으로 예측하여 상기 모니터링 결과 데이터를 시각화 소프트웨어에 입력하여 획득한 3D 이미지를 출력하는 출력부를 포함한다.

[0008] 질량 연속성, 운동량 보존, 에너지 절약 및 종 수송 방정식이 적용된 전산유체역학(CFD) 모델을 구축하는 전산유체역학(CFD) 모델 구축부를 더 포함할 수 있다.

[0009] 상기 인공지능 모델은, 유전 알고리즘을 통해 하이퍼파라미터를 조합하고, 조합된 하이퍼파라미터를 이용하여 구성되며,

[0010] 상기 하이퍼파라미터는, 뉴런의 수, 에폭 수, 뉴런의 수, 활성화 함수의 수, 손실 함수의 종류, 학습률, 옵티마이저(optimizer)를 포함할 수 있다.

[0011] 상기 데이터 입력부는, 사용자로부터 압력이나 부타디엔, 부텐, 산소 및 이산화탄소의 농도 중에서 적어도 하나의 매개변수를 입력받을 수 있다.

[0012] 상기 예측부는, X,Y,Z의 좌표값과, 튜브 및 셀 측 온도 분포, 부타디엔, 부텐, 산소 및 이산화탄소 농도 중에서 적어도 하나를 포함하는 모니터링 결과 데이터를 획득할 수 있다.

[0013] 본 발명의 실시예에 따른 모니터링 시스템을 이용한 화공 장치의 모니터링 방법은 작동 조건, 물 분율 및 촉매를 포함하는 입력 매개 변수를 이용하여 전산유체역학(CFD) 모델로부터 복수의 데이터 세트를 획득하는 단계, 상기 획득한 복수의 데이터 세트를 이용하여 인공지능 모델을 학습시키는 단계, 사용자로부터 공정 데이터를 입력받는 단계, 입력된 공정데이터를 학습이 완료된 인공지능 모델에 입력하여 모니터링 결과 데이터를 획득하는 단계, 그리고 상기 획득한 모니터링 결과 데이터를 이용하여 농도 및 온도의 차이를 추출하고, 차이가 발생된 것으로 판단되면 장치 내에 변동이 발생된 것으로 예측하여 상기 모니터링 결과 데이터를 시각화 소프트웨어에 입력하여 획득한 3D 이미지를 출력하는 단계를 포함한다.

발명의 효과

[0014] 이와 같이 본 발명에 따르면, 전산유체역학(CFD) 및 인공지능 알고리즘을 이용하여 획득한 모니터링 결과를 디지털 트윈과 유사한 3D 이미지로 제공하므로 프로세스 변수의 온라인 최적화, 제어 변수의 효율적인 조작 및 예

측 유지 관리에 유용한 효과를 도모할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0015] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 화공 장치의 모니터링 시스템을 설명하기 위한 구성도이다.
- 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 화공 장치에 대한 모니터링 시스템에 대한 모니터링 방법을 설명하기 위한 순서도이다.
- 도 3은 도 2에 도시된 S260을 설명하기 위한 예시도이다.
- 도 4는 도2에 도시된 S260단계에서 모니터링 결과 데이터를 가상 현실 이미지로 나타낸 예시도이다.
- 도 5는 본 발명의 실시예에 따른 전산유체역학(CFD) 모델 및 인공지능에 대한 검증 결과를 나타낸 도면이다.
- 도 6은 공정 입력 온도에 따라 예측된 결과를 나타내는 예시도이다.
- 도 7은 낮은 입력 온도에서 원자로 성능 출력 결과를 나타내는 예시도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0016] 이하 첨부된 도면을 참조하여 본 발명에 따른 바람직한 실시예를 상세히 설명하기로 한다. 이 과정에서 도면에 도시된 선들의 두께나 구성요소의 크기 등은 설명의 명료성과 편의상 과장되게 도시되어 있을 수 있다.
- [0017] 또한 후술되는 용어들은 본 발명에서의 기능을 고려하여 정의된 용어들로서, 이는 사용자, 운용자의 의도 또는 관례에 따라 달라질 수 있다. 그러므로 이러한 용어들에 대한 정의는 본 명세서 전반에 걸친 내용을 토대로 내려져야 할 것이다.
- [0018] 이하에서는 도 1을 이용하여 본 발명의 실시예에 따른 화공 장치에 대한 모니터링 시스템에 대하여 더욱 상세하게 설명한다.
- [0019] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 화공 장치의 모니터링 시스템을 설명하기 위한 구성도이다.
- [0020] 도 1에 도시된 바와 같이, 본 발명의 실시예에 따른 화공 장치의 모니터링 시스템(100)은 전산유체역학(CFD) 모델 구축부(110), 데이터 세트 생성부(120), 학습부(130), 데이터 입력부(140), 예측부(150) 및 출력부(160)를 포함한다.
- [0021] 먼저, 전산유체역학(CFD) 모델 구축부(110)는 물리적 기반의 전산유체역학(CFD) 모델을 구축한다. 부연하자면, 전산유체역학(CFD) 모델 구축부(110)는 질량 연속성, 운동량 보존, 에너지 절약 및 종 수송 방정식이 적용된 전산유체역학(CFD) 모델을 구축한다.
- [0022] 데이터 세트 생성부(120)는 입력 매개 변수를 기 구축된 전산유체역학(CFD) 모델에 입력하여 시뮬레이션 데이터를 생성한다. 다만, 사용자는 전산유체역학(CFD) 모델에 입력되는 온도를 변화시켜 전산유체역학(CFD) 모델로 하여금 복수의 시뮬레이션 데이터를 출력하게 한다. 그 다음, 데이터 세트 생성부(120)는 출력된 복수의 시뮬레이션 데이터 중에서 무작위로 추출하여 후술되는 인공지능 모델을 학습시키기 위한 학습 데이터 세트를 생성한다.
- [0023] 학습부(130)는 생성된 학습 데이터 세트를 기 구축된 인공지능 모델에 입력하여 인공지능 모델로 하여금 입력된 온도 변화에 대응하여 모니터링 결과 데이터를 출력하도록 학습시킨다. 여기서 모니터링 결과 데이터는 3차원 영상으로 시각화하기 위한 좌표값과 입력된 온도의 변화에 대응한 튜브 및 쉘 측의 온도 분포, 부타디엔, 부텐, 산소 및 이산화탄소의 농도 등을 포함한다.
- [0024] 데이터 입력부(140)는 사용자로부터 부타디엔 합성 과정에서 발생한 온도에 대한 데이터를 획득한다. 그리고 예측부(150)는 획득한 온도를 학습이 완료된 인공지능 모델에 입력하여, 모니터링 결과 데이터를 획득한다. 그리고, 예측부(150)는 획득한 모니터링 결과 데이터를 이용하여 장치내 변동 발생 여부를 예측한다.
- [0025] 부연하자면, 예측부(150)는 모니터링 결과 데이터를 이용하여 농도 및 온도의 차이를 추출하고, 차이가 발생되면 장치내에 변동이 발생된 것으로 예측한다.
- [0026] 마지막으로 출력부(160)는 예측 결과에 따라 변동이 발생된 것으로 판단되면, 모니터링 결과 데이터에 포함된 좌표값을 이용하여 3D 형태로 렌더링한 이미지를 출력한다.

[0027] 이하에서는 도 2 내지 도 4를 이용하여 본 발명의 실시예에 따른 화공 장치에 대한 모니터링 시스템(100)에 대한 모니터링 방법에 대해 더욱 상세하게 설명한다.

[0028] 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 화공 장치에 대한 모니터링 시스템에 대한 모니터링 방법을 설명하기 위한 순서도이다.

[0029] 도 2에 도시된 바와 같이, 본 발명의 실시예에 따른 화공 장치에 대한 모니터링 방법은 인공지능 모델을 학습시키는 단계, 학습이 완료된 인공지능 모델을 이용하여 모니터링 하는 단계를 포함한다.

[0030] 먼저, 인공지능 모델을 학습시키는 단계를 살펴보면, 화공 장치에 대한 모니터링 시스템(100)은 전산유체역학(CFD) 모델을 구축한다(S210).

[0031] 부연하자면, 전산유체역학(CFD) 모델 구축부(110)는 질량 연속성, 운동량 보존, 에너지 절약 및 종 수송 방정식이 적용된 전산유체역학(CFD) 모델을 구축한다.

[0032] 먼저, 전산유체역학(CFD) 모델 구축부(110)는 화공장치의 질량 연속성을 위하여 전산유체역학(CFD) 모델에 하기의 수학식1을 적용한다.

수학식 1

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{v}) = \dot{R}$$

[0033]

[0034] 여기서, ρ 는 밀도를 나타내고, $\mathbf{v}$ 는 속도를 나타내며, $\dot{R}$ 은 반응 원향을 나타낸다.

[0035] 그 다음, 전산유체역학(CFD) 모델 구축부(110)는 화공장치의 압력 및 속도의 결합에 대한 운동량 보존을 위하여 하기의 수학식 2를 적용한다.

수학식 2

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \bar{\mathbf{u}}) + \nabla \cdot (\rho \bar{\mathbf{u}} \bar{\mathbf{u}}) = -\nabla p + \rho \bar{\mathbf{g}} + \nabla \cdot (\boldsymbol{\tau} + \boldsymbol{\tau}_t) + \dot{R} \bar{\mathbf{u}} + \bar{\mathbf{S}}$$

[0036]

[0037] 여기서, μ 는 점성계수를 나타내고, $\mathbf{g}$ 는 중력을 나타내고, $\dot{R}$ 은 반응 원향 을 나타내며, p 는 압력을 나타내며, $\mathbf{S}$ 는 다공성 저항을 나타낸다.

[0038] 그 다음, 전산유체역학(CFD) 모델 구축부(110)는 화공장치에 대한 일반적인 에너지 균형이 이루어질 수 있도록 하기의 수학식 3을 전산유체역학(CFD) 모델에 적용한다.

수학식 3

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho h) + \nabla \cdot (\rho \bar{\mathbf{u}} h) + \frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \nabla \cdot (\rho \bar{\mathbf{u}} k) - \frac{\partial p}{\partial t} = \rho \bar{\mathbf{u}} \bar{\mathbf{g}} + \nabla \cdot (\alpha_{eff} \nabla h) + \dot{Q}_{rxn}$$

[0039]

[0040] 여기서, h 는 특정 엔탈피를 나타내고, k 는 난류 운동 에너지를 나타내고, $\dot{Q}_{rxn}$ 는 화학 반응에 의한 열원을 나타내고, α_{eff} 는 유효 열확산 계수를 나타낸다.

[0041] 마지막으로, 전산유체역학(CFD) 모델 구축부(110)는 화공장치의 개별 가스종에 대한 질량 농도를 계산하기 위하여 하기의 수학식 4를 전산유체역학(CFD) 모델에 적용한다.

수학식 4

$$\varepsilon_p \frac{\partial}{\partial t} (\rho Y_i) + \varepsilon_p \nabla \cdot (\rho \bar{u} Y_i) - \varepsilon_p \nabla \cdot (\rho D_i \nabla Y_i) = (1 - \varepsilon_p) \rho_{cat} \dot{R}_i$$

여기서, Y 는 각 종의 질량 분율을 나타내고, D 는 확산율을 나타내고, $\dot{R}$ 은 반응 원항을 나타내며, ρ_{cat} 는 촉매 밀도를 나타낸다. 한편, 수학식 4에 해당되는 종 보존 방정식은 총 질량 분율이 하기의 수학식 5와 같이 1이 되도록 한다.

수학식 5

$$\sum_{i=1}^n Y_i = 1$$

상기와 같이 물리 기반의 전산유체역학(CFD) 모델을 구축 완료하면, 데이터 세트 생성부(120)는 전산유체역학(CFD) 모델을 통해 후술되는 인공지능 모델을 학습시키기 위한 학습 데이터 세트를 생성한다(S220).

부연하자면, 데이터 세트 생성부(120)는 하기의 표1에 기재된 입력 매개변수를 전산유체역학(CFD) 모델에 입력한다.

표 1

	Variable	Value	Unit
Operating Conditions	Gas flowrate	0.007	kg/s
	Coolant velocity	1	m/s
	porosity	0.39	-
	Temperature	variable	K
	Pressure	101325	Pa
Mole fractions	C ₄ H ₈	0.05	-
	H ₂ O	0.047	-
	O ₂	0.717	-
	N ₂	0.186	-
Catalyst	Density	4806	kg/m ³
	Thermal cond.	0.2514	W/mk

그 다음, 데이터 세트 생성부(120)는 후술되는 인공지능 모델의 학습시키기 위한 데이터 세트를 생성하기 위하여 입력 매개 변수 중에서 입력 온도를 변화시켜 전산유체역학(CFD) 모델을 통해 시뮬레이션을 수행한다.

그러면, 전산유체역학(CFD) 모델은 입력 온도에 대응하는 모니터링 결과 데이터를 출력한다. 여기서 모니터링 결과 데이터는 3차원 영상으로 시각화하기 위한 좌표값과 입력된 온도의 변화에 대응한 튜브 및 셀 층의 온도 분포, 부타디엔, 부텐, 산소 및 이산화탄소의 농도 등을 포함한다. 데이터 세트 생성부(120)는 획득한 복수의 모니터링 결과 데이터 중에서 무작위로 추출하되, 80:10:10의 비율로 훈련, 검증 및 테스트 세트로 구분한다.

S220단계가 완료되면, 학습부(130)는 생성된 학습 데이터 세트를 이용하여 인공지능 모델을 학습시킨다(S230).

먼저, 학습부(130)는 인공지능 모델을 구축한다. 이를 더욱 상세하게 설명하면, 학습부(130)는 유전 알고리즘을 통해 하이퍼파라미터를 조합하고, 조합된 하이퍼파라미터를 이용하여 인공지능 모델을 구성한다.

여기서 하이퍼파라미터는 뉴런의 수, 에폭 수, 뉴런의 수, 활성화 함수의 수, 손실 함수의 종류, 학습률, 옵티마이저(optimizer)일 수 있다.

- [0053] 그 다음, 학습부(130)는 S220단계에서 획득한 학습 데이터 세트를 인공지능 모델에 입력하여 학습시킨다.
- [0054] S210단계 내지 S230단계를 이용하여 인공지능 모델에 대한 학습이 완료되면, 데이터 입력부(140)는 사용자로부터 공정 데이터를 입력받는다(S240).
- [0055] 여기서 공정 데이터는 부타디엔 합성 과정에서 발생된 온도에 대한 데이터를 나타낸다. 본 발명의 실시예에서는 부타디엔 합성 과정에서 발생된 온도를 입력 데이터로 기재하였으나 이에 한정하지 않고, 압력이나 부타디엔, 부텐, 산소 및 이산화탄소의 농도 등을 입력 데이터로 사용할 수도 있다.
- [0056] 그 다음, 예측부(150)는 공정데이터를 학습이 완료된 인공지능 모델에 입력하여 모니터링 결과 데이터를 획득한다(S250).
- [0057] 예측부(150)는 사용자로부터 입력된 공정 데이터를 인공지능 모델에 입력한다. 그러면, 인공지능 모델은 X,Y,Z의 좌표값과, 튜브 및 셸 측 온도 분포, 부타디엔, 부텐, 산소 및 이산화탄소 농도 중에서 적어도 하나를 포함하는 모니터링 결과 데이터를 출력한다.
- [0058] 출력된 모니터링 결과 데이터는 출력부(160)에 전달된다.
- [0059] 출력부(160)는 전달받은 모니터링 결과 데이터를 시각화 소프트웨어에 입력하여 3D 이미지를 획득하고, 획득한 3D 이미지를 사용자의 모니터 장치에 출력시킨다(S260).
- [0060] 도 3은 도 2에 도시된 S260을 설명하기 위한 예시도이다.
- [0061] 도 3에 도시된 바와 같이, 본 발명의 실시예에 따른 모니터링 시스템(100)은 인공지능 모델을 통해 출력된 모니터링 결과 데이터를 3D 형태의 이미지로 출력한다.
- [0062] 도 4는 도2에 도시된 S260단계에서 모니터링 결과 데이터를 가상 현실 이미지로 나타낸 예시도이다.
- [0063] 도 4에 도시된 바와 같이, 본 발명의 실시예에 따른 모니터링 시스템(100)은 모니터링 결과 데이터를 가상 현실화하여 출력할 수도 있다.
- [0064] 이하에서는 도 5를 이용하여 본 발명의 실시예에 따른 전산유체역학(CFD) 모델 및 인공지능 모델의 검증 결과에 대해 설명한다.
- [0065] 도 5는 본 발명의 실시예에 따른 전산유체역학(CFD) 모델 및 인공지능에 대한 검증 결과를 나타낸 도면이다.
- [0066] 도 5의 (a)는 전산유체역학(CFD) 모델을 통해 출력된 물 분율을 나타내는 그래프이고, 도 5의 (b)는 전산유체역학(CFD) 모델을 통해 출력된 CO2부분 압력을 나타내는 그래프이고, 도 5의 (c)는 인공지능 모델의 정확도를 나타내는 그래프이고, 도 5의 (d)는 인공지능 모델의 손실을 나타내는 그래프이다. 또한, 도 5의 (e)는 인공지능 모델의 검증 데이터에 대한 손실을 나타내는 그래프이고, 도 5의 (f)는 인공지능 모델의 학습 정확도를 나타내는 그래프이다.
- [0067] 도5에 도시된 바와 같이, 본 발명의 실시예에 따른 전산유체역학(CFD) 모델은 98.2%의 정확도를 가지는 것을 알 수 있으며, 인공지능 모델에 대한 훈련 데이터의 경우에는 0.44%의 오차 범위(99.56%의 정확도)를 가지며, 검증 데이터의 경우에는 98.32%의 정확도를 가지는 것을 알 수 있다.
- [0068] 이하에서는 도 6 및 도 7를 이용하여 본 발명의 실시예에 따른 인공지능 모델을 이용하여 획득한 결과 데이터를 이용하여 모니터링한 결과에 대해 설명하기로 한다.
- [0069] 도 6은 공정 입력 온도에 따라 예측된 결과를 나타내는 예시도이고, 도 7은 낮은 입력 온도에서 원자로 성능 출력 결과를 나타내는 예시도이다.
- [0070] 도 6에 도시된 바와 같이, 사용자는 공정 입력 온도를 727K(도 6의 a), 678K(도 6의 b), 671K(도 6의 c) 및 662K(도 6의 d)로 각각 입력하였다. 인공지능 모델을 통해 획득한 모니터링 결과 데이터를 살펴보면, 입력된 각각의 온도에 따라 서로 다른 프로파일을 표시하고 있다.
- [0071] 그리고 도 7에 도시된 바와 같이, 인공지능 모델은 매우 낮은 입력 온도(643k)에 대응하여 급격한 변화를 출력하고 있다.
- [0072] 이와 같이 본 발명에 따른 유체전산해석 및 인공지능을 기반으로 하는 장치 모니터링 방법은 전산유체역학(CFD) 및 인공지능 알고리즘을 이용하여 획득한 모니터링 결과를 디지털 트윈과 유사한 3D 이미지로 제공하므로 프로

세스 변수의 온라인 최적화, 제어 변수의 효율적인 조작 및 예측 유지 관리에 유용한 효과를 도모할 수 있다.

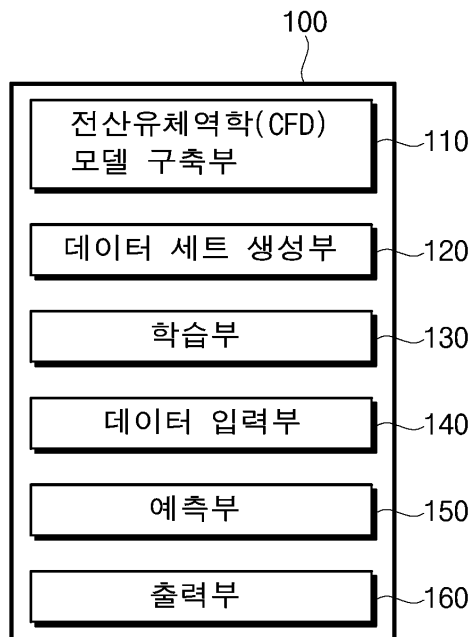
[0074] 본 발명은 도면에 도시된 실시예를 참고로 하여 설명되었으나 이는 예시적인 것에 불과하며, 당해 기술이 속하는 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 타 실시예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서 본 발명의 진정한 기술적 보호범위는 아래의 특허청구범위의 기술적 사상에 의하여 정해져야 할 것이다.

부호의 설명

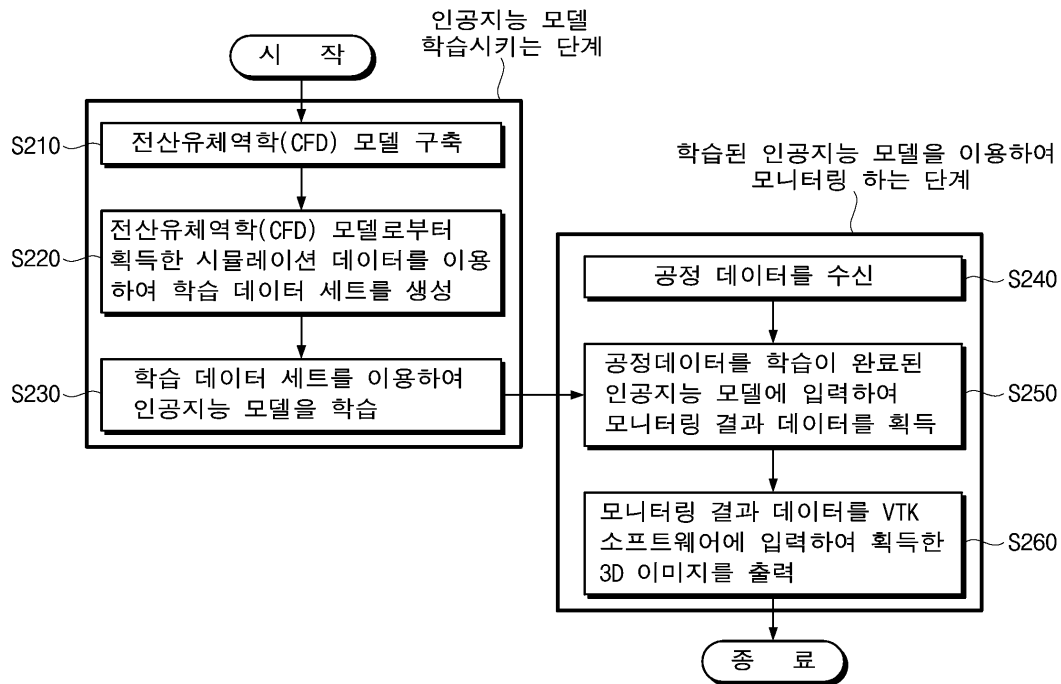
[0075] 100 : 모니터링 시스템
110 : 전산유체역학(CFD) 모델 구축부
120 : 데이터 세트 생성부
130 : 학습부
140 : 데이터 입력부
150 : 예측부
160 : 출력부

도면

도면1



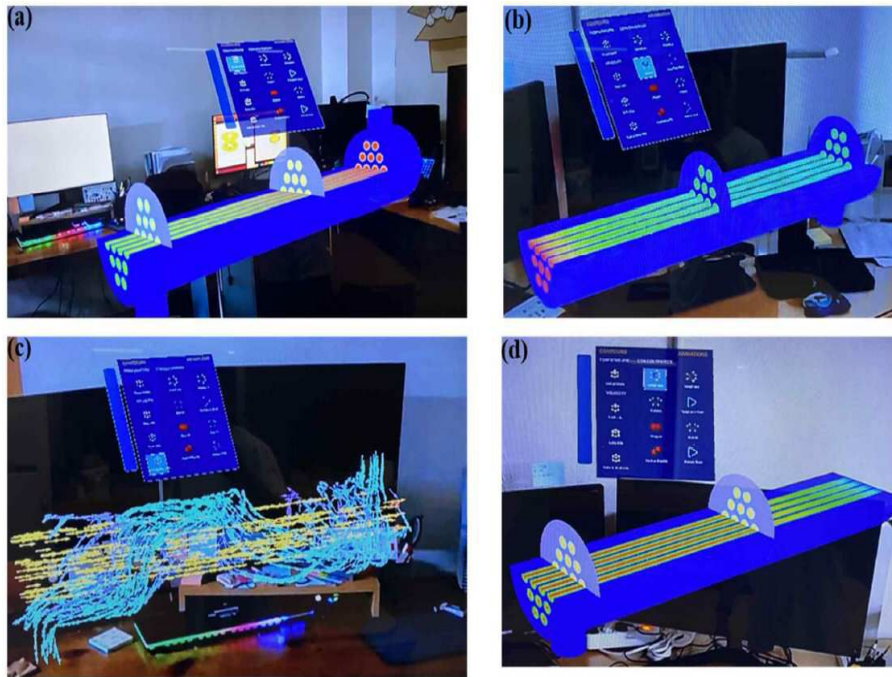
도면2



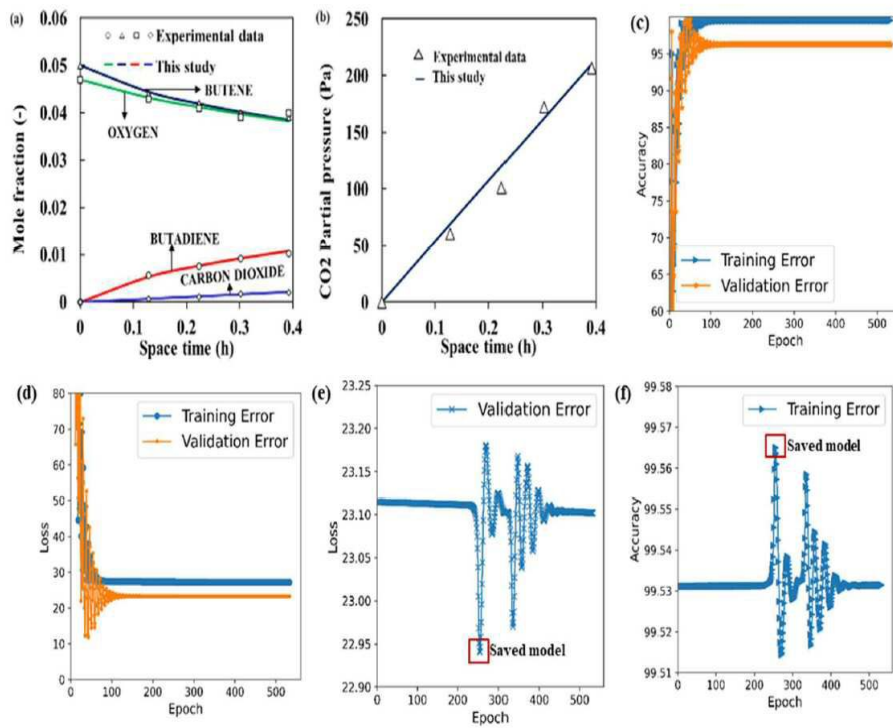
도면3



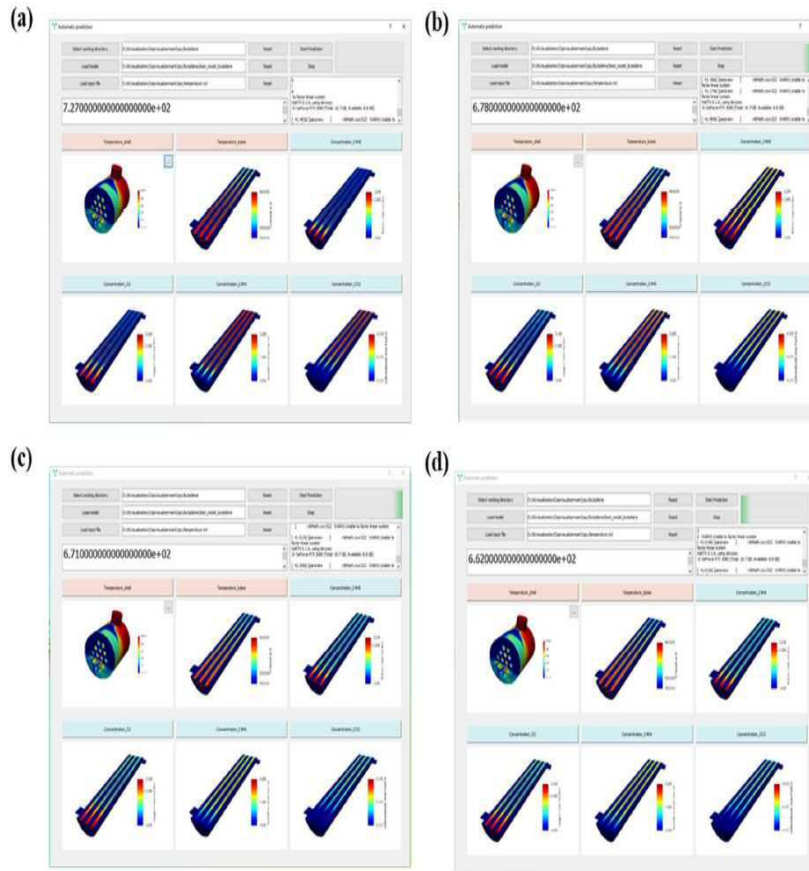
도면4



도면5



도면6



도면7

