

(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)(11) 공개번호 10-2024-0094530
(43) 공개일자 2024년06월25일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

H01M 8/04828 (2016.01) G06N 3/09 (2023.01)
H01M 8/0432 (2016.01) H01M 8/0438 (2016.01)
H01M 8/10 (2016.01)

(52) CPC특허분류

H01M 8/04828 (2013.01)
G06N 3/09 (2023.01)

(21) 출원번호 10-2022-0176889

(22) 출원일자 2022년12월16일

심사청구일자 2022년12월16일

(71) 출원인

인하대학교 산학협력단

인천광역시 미추홀구 인하로 100(용현동, 인하대학교)

(72) 발명자

황성원

인천광역시 연수구 아카데미로312번길 177, 104동
2002호(송도동, 힐스테이트 레이크 송도)

조영탁

경기도 고양시 일산서구 가좌2로 53, 304동 701
호(가좌동, 가좌마을3단지아파트)

(74) 대리인

특허법인태백

전체 청구항 수 : 총 9 항

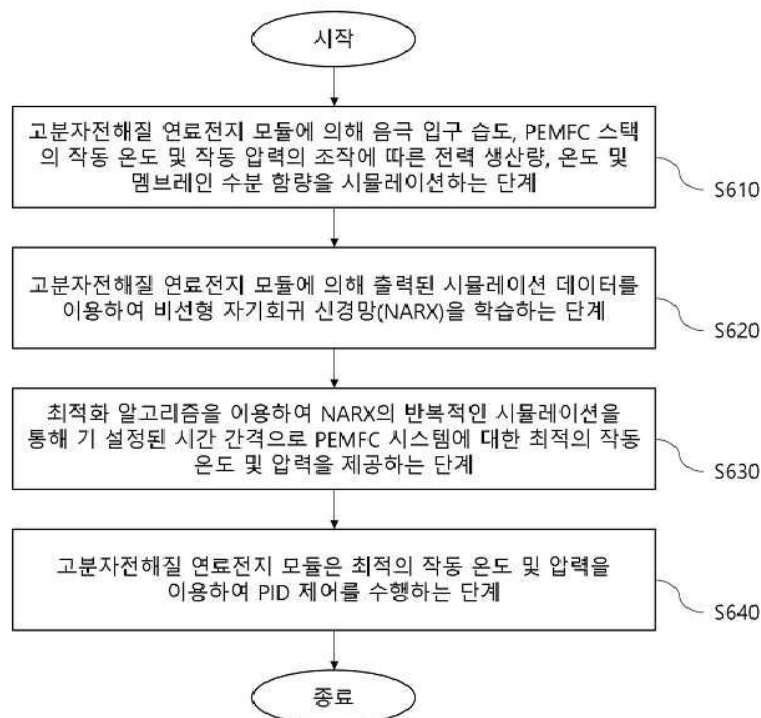
(54) 발명의 명칭 인공지능 알고리즘을 이용한 고분자전해질 연료전지의 수분조절 시스템 및 그 방법

(57) 요약

본 발명은 인공지능 알고리즘을 이용한 고분자전해질 연료전지의 수분조절 시스템 및 그 방법에 관한 것이다. 본 발명에 따르면, 고분자전해질 연료전지(Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell, PEMFC) 스택이 모델링되어 상기 PEMFC의 작동 조건에 따른 시뮬레이션 데이터를 출력하는 고분자전해질 연료전지 모듈; 및 상기 고분자전해질

(뒷면에 계속)

대표도 - 도6



연료전지 모듈에 의해 출력된 시뮬레이션 데이터를 이용하여 학습모델을 학습시키고, 상기 학습모델을 모델 예측 제어(model predictive control, MPC)와 통합하여 신경망 모델 예측 제어(neural network model predictive control, NNMPCC)를 구성하여 복수의 전류 부하 프로파일에서 PEMFC 시스템을 작동하기 위한 최적의 조건을 제공하는 제어부를 포함한다.

이와 같이 본 발명에 따르면, 고분자전해질 연료전지를 통해 전력을 생산함에 있어서, 음극 입구 습도, 작동 온도 및 작동 압력을 조절하여 고분자전해질 연료전지의 멤브레인 수분 함량을 최적으로 제어하고 이에 따라 전력 생산을 극대화할 수 있다.

또한 인공지능 알고리즘을 통해 비선형 데이터를 빠르고 정확하게 산출할 수 있고, 공정 조건을 스스로 제어 및 관리가 가능하다. 또한 에너지 생산을 극대화 함으로써 고분자전해질 연료전지의 수명을 늘리고, 비용을 절감할 수 있다.

(52) CPC특허분류

H01M 8/04365 (2013.01)

H01M 8/0438 (2013.01)

H01M 2008/1095 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

고분자전해질 연료전지(Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell, PEMFC) 스택이 모델링되어 상기 PEMFC의 작동 조건에 따른 시뮬레이션 데이터를 출력하는 고분자전해질 연료전지 모듈; 및

상기 고분자전해질 연료전지 모듈에 의해 출력된 시뮬레이션 데이터를 이용하여 학습모델을 학습시키고, 상기 학습모델을 모델 예측 제어(model predictive control, MPC)와 통합하여 신경망 모델 예측 제어(neural network model predictive control, NNMPC)를 구성하여 복수의 전류 부하 프로파일에서 PEMFC 시스템을 작동하기 위한 최적의 조건을 제공하는 제어부를 포함하는 인공지능 알고리즘을 이용한 고분자전해질 연료전지의 수분 조절 시스템.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 고분자전해질 연료전지 모듈은 음극 입구 습도, PEMFC 스택의 작동 온도 및 작동 압력의 조작에 따른 전력 생산량, 온도 및 멤브레인 수분 함량을 시뮬레이션하여 시뮬레이션 데이터를 출력하는 인공지능 알고리즘을 이용한 고분자전해질 연료전지의 수분조절 시스템.

청구항 3

제 2 항에 있어서,

상기 제어부는 상기 음극 입구 습도, PEMFC 스택의 작동 온도 및 작동 압력을 입력 데이터로 설정하고, 멤브레인 수분 함량 및 전력 생산량을 출력 데이터로 설정하여 상기 학습모델의 학습을 진행하는 인공지능 알고리즘을 이용한 고분자전해질 연료전지의 수분조절 시스템.

청구항 4

제 3 항에 있어서,

상기 학습모델은 외생적인 입력을 갖는 비선형 자기회귀 신경망(nonlinear autoregressive network with exogenous inputs, NARX)인 인공지능 알고리즘을 이용한 고분자전해질 연료전지의 수분조절 시스템.

청구항 5

제 4 항에 있어서,

상기 NARX의 입력은 시간 k 에서의 작동 온도 설정값, 작동 압력 설정값, 음극 입구 습도 및 전류 부하와, 시간 $k-1$ 에서의 상기 NARX의 출력을 포함하고,

상기 NARX는 시간 k 에서의 시스템 전력, 스택 온도 및 멤브레인 수분함량을 출력하는 인공지능 알고리즘을 이용한 고분자전해질 연료전지의 수분조절 시스템.

청구항 6

제 5 항에 있어서,

상기 제어부는 최적화 알고리즘을 사용하여 NARX의 반복적인 시뮬레이션을 통해 기 설정된 시간 간격으로 PEMFC 시스템에 대한 최적의 작동 온도 및 압력을 제공하는 인공지능 알고리즘을 이용한 고분자전해질 연료전지의 수분조절 시스템.

청구항 7

제 6 항에 있어서,

상기 제어부는 상기 고분자전해질 연료전지 모듈의 시뮬레이션 데이터를 기반으로 훈련된 상기 NARX를 통해 최대 전력을 위한 온도 설정점, 압력 설정점 및 음극 입구 습도 값을 도출하고,

도출된 온도 설정점, 압력 설정점 및 음극 입구 습도 값은 상기 고분자전해질 연료전지 모듈로 전달되어 상기 고분자전해질 연료전지 모듈에서 전달된 온도 및 압력 설정점으로 공기 냉각기와 공기 압축기에 PID 제어를 적용하여 PEMFC 시스템의 작동 온도와 압력을 제어하는 인공지능 알고리즘을 이용한 고분자전해질 연료전지의 수분조절 시스템.

청구항 8

제 7 항에 있어서,

최적화의 목적 함수 J는 하기의 수학적식과 같고,

$$J = m \dot{n} \sum_{i=1}^P [-W_1 P_{sys} + W_2 (\Delta u)^2]$$

$$\lambda_{avg} \geq 6$$

$$Constraints \quad , \quad 313.15 \leq T_{sp} \leq 358.15$$

$$1bar \leq P_{sp} \leq 1.5bar$$

목적 함수 J는 시스템 전력 P_{sys} 을 최대화하고, 입력변수의 변화량 합을 최소화하도록 구성되며, 제약 조건은 평균 멤브레인 수분함량(λ_{avg})이 6 이상, 작동 온도는 313.15~358.15 K, 작동 압력은 1~1.5 bar로 설정되는 인공지능 알고리즘을 이용한 고분자전해질 연료전지의 수분조절 시스템.

청구항 9

고분자전해질 연료전지 스택을 모델링한 고분자전해질 연료전지 모듈에 의해 음극 입구 습도, PEMFC 스택의 작동 온도 및 작동 압력의 조작에 따른 전력 생산량, 온도 및 멤브레인 수분 함량을 시뮬레이션하는 단계;

상기 고분자전해질 연료전지 모듈에 의해 출력된 시뮬레이션 데이터를 이용하여 비선형 자기회귀 신경망(NARX)을 학습하는 단계;

최적화 알고리즘을 이용하여 상기 NARX의 반복적인 시뮬레이션을 통해 기 설정된 시간 간격으로 PEMFC 시스템에 대한 최적의 작동 온도 및 압력을 제공하는 단계; 및

상기 고분자전해질 연료전지 모듈은 상기 최적의 작동 온도 및 압력을 이용하여 PID 제어를 수행하는 단계를 포함하는 인공지능 알고리즘을 이용한 고분자전해질 연료전지의 수분조절 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 인공지능 알고리즘을 이용한 고분자전해질 연료전지의 수분조절 시스템 및 그 방법에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 고분자전해질 연료전지 모듈에서 효율적인 전력 생산을 위해 인공지능 알고리즘을 이용하여 고분자전해질 연료전지 모듈의 최적의 작동 조건을 결정하여 수분을 조절하는 수분조절 시스템 및 그 방법에 관한 것이다.

[0002] 1. 이 연구는 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구이다(P0008475, 스마트 디지털 엔지니어링 전문인력양성사업).

[0003] 2. 이 연구는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구이다(인하대학교 스마트 에너지 소재 및 공정 교육 연구단, BK21 Four).

배경 기술

- [0004] 최근 환경 문제에 대한 관심의 증가로 연료전지에 대한 연구 및 개발이 활발히 진행되고 있다.
- [0005] 일 예로, 고분자전해질 연료전지의 전력 생산을 증가시키기 위해 설계의 개선 및 보강과 보조 시스템 제어에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 촉매층, 가스확산층(Gas diffusion layer, GDL), 미세다공성층(Microporous layer, MPL) 및 채널 가스 유동필드의 재료 및 형상 개선이 연구되었다.
- [0006] 최적의 운전 조건을 위해서는 고분자전해질 연료전지 시스템의 전력과 관련된 현상을 고려한 시스템 제어가 중요하다.
- [0007] 고분자전해질 연료전지 스택에서 발생하는 분극 현상은 고분자전해질 연료전지 스택의 전압을 낮추고 더 많은 전류를 소비한다.
- [0008] 또한, 여러 개의 고분자전해질 연료전지를 함께 적층하면 더 높은 열이 발생하여 온도가 급격히 상승한다. 고분자전해질 연료전지 스택 온도가 필요 이상으로 높게 되면, 연료전지 구성 요소들은 열화되고 효율이 떨어지며 심각한 손상을 받는다.
- [0009] 모든 개별 셀에 균일한 전류와 전압을 얻기 위해 수소 gas와 공기는 동일한 압력과 속도로 개별 셀의 양극과 음극에 고르게 분포되어야 한다. 작동 압력을 조정하면 전기화학 반응이 일어나는 촉매층에서 반응물의 분압이 증가하여 전압이 증가된다.
- [0010] 더 높은 전력을 생산하려면 고분자전해질 연료전지 스택의 작동 중에 멤브레인은 충분한 수분을 포함해야 한다. 또한, 필름이 침수되지 않고 충분히 수분을 가지도록 수분 함량을 조절함으로써 동일한 전류에서 최대 전압을 생성할 수 있다.
- [0011] 고분자전해질 연료전지의 최적의 작동을 통한 최대 전력 생산은 고분자전해질 연료전지의 수명을 늘리고 비용을 절감할 수 있다. 또한 이를 통해 잉여 에너지를 생성할 수 있고, 이를 저장하여 부하 변동 시에 전원 공급을 안정화하거나 연료 소비를 줄일 수 있다.
- [0012] 하지만 종래에는 고분자전해질 연료전지 시스템의 작동을 최적화하기 위해 일부 변수를 제어하여 고분자전해질 연료전지의 수분량을 조절하였을 뿐 고분자전해질 연료전지의 최적 작동을 위해 필요한 모든 변수를 제어하지 않아 전력 생산 극대화에 적합하지 않다.
- [0013] 따라서, 수소 에너지의 상용화를 위해서는 고분자전해질 연료전지 시스템의 전기에너지 생산 효율을 높이는 방안에 대한 연구가 필요하다.
- [0014] 본 발명의 배경이 되는 기술은 대한민국공개특허 제10-2022-0091149호(2022.06.30. 공개)에 개시되어 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0015] 본 발명은 고분자전해질 연료전지 모듈에서 효율적인 전력 생산을 위해 인공지능 알고리즘을 이용하여 고분자전해질 연료전지 모듈의 최적의 작동 조건을 결정하여 수분을 조절하는 수분조절 시스템 및 그 방법을 제공하는데 목적이 있다.

과제의 해결 수단

- [0016] 이러한 기술적 과제를 이루기 위한 본 발명의 실시예에 따르면, 인공지능 알고리즘을 이용한 고분자전해질 연료전지의 수분조절 시스템에 있어서, 고분자전해질 연료전지(Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell, PEMFC) 스택이 모델링되어 상기 PEMFC의 작동 조건에 따른 시뮬레이션 데이터를 출력하는 고분자전해질 연료전지 모듈; 및 상기 고분자전해질 연료전지 모듈에 의해 출력된 시뮬레이션 데이터를 이용하여 학습모델을 학습시키고, 상기 학습모델을 모델 예측 제어(model predictive control, MPC)와 통합하여 신경망 모델 예측 제어(neural network model predictive control, NNMPC)를 구성하여 복수의 전류 부하 프로파일에서 PEMFC 시스템을 작동하기 위한 최적의 조건을 제공하는 제어부를 포함한다.
- [0017] 상기 고분자전해질 연료전지 모듈은 음극 입구 습도, PEMFC 스택의 작동 온도 및 작동 압력의 조합에 따른 전력 생산량, 온도 및 멤브레인 수분 함량을 시뮬레이션하여 시뮬레이션 데이터를 출력할 수 있다.
- [0018] 상기 제어부는 상기 음극 입구 습도, PEMFC 스택의 작동 온도 및 작동 압력을 입력 데이터로 설정하고, 멤브레인

인 수분 함량 및 전력 생산량을 출력 데이터로 설정하여 상기 학습모델의 학습을 진행할 수 있다.

[0019] 상기 학습모델은 외생적인 입력을 갖는 비선형 자기회귀 신경망(nonlinear autoregressive network with exogenous inputs, NARX)일 수 있다.

[0020] 상기 NARX의 입력은 시간 k 에서의 작동 온도 설정값, 작동 압력 설정값, 음극 입구 습도 및 전류 부하와, 시간 $k-1$ 에서의 상기 NARX의 출력을 포함하고, 상기 NARX는 시간 k 에서의 시스템 전력, 스택 온도 및 멤브레인 수분 함량을 출력할 수 있다.

[0021] 상기 제어부는 최적화 알고리즘을 사용하여 NARX의 반복적인 시뮬레이션을 통해 기 설정된 시간 간격으로 PEMFC 시스템에 대한 최적의 작동 온도 및 압력을 제공할 수 있다.

[0022] 상기 제어부는 상기 고분자전해질 연료전지 모듈의 시뮬레이션 데이터를 기반으로 훈련된 상기 NARX를 통해 최대 전력을 위한 온도 설정점, 압력 설정점 및 음극 입구 습도 값을 도출하고, 도출된 온도 설정점, 압력 설정점 및 음극 입구 습도 값은 상기 고분자전해질 연료전지 모듈로 전달되어 상기 고분자전해질 연료전지 모듈에서 전달된 온도 및 압력 설정점으로 공기 냉각기와 공기 압축기에 PID 제어를 적용하여 PEMFC 시스템의 작동 온도와 압력을 제어할 수 있다.

[0023] 최적화의 목적 함수 J 는 하기의 수학적식과 같고,

$$J = m \dot{n} \sum_{i=1}^P [-W_1 P_{sys} + W_2 (\Delta u)^2]$$

$$\lambda_{avg} \geq 6$$

$$Constraints \quad , \quad 313.15 \leq T_{sp} \leq 358.15$$

$$1bar \leq P_{sp} \leq 1.5bar$$

[0024]

[0025] 목적 함수 J 는 시스템 전력 P_{sys} 을 최대화하고, 입력변수의 변화량 합을 최소화하도록 구성되며, 제약 조건은 평균 멤브레인 수분함량(λ_{avg})이 6 이상, 작동 온도는 313.15~358.15 K, 작동 압력은 1~1.5 bar로 설정될 수 있다.

[0026] 한편, 본 발명의 실시예에 따르면, 인공지능 알고리즘을 이용한 고분자전해질 연료전지 수분조절 방법에 있어서, 고분자전해질 연료전지 스택을 모델링한 고분자전해질 연료전지 모듈에 의해 음극 입구 습도, PEMFC 스택의 작동 온도 및 작동 압력의 조작에 따른 전력 생산량, 온도 및 멤브레인 수분 함량을 시뮬레이션하는 단계; 상기 고분자전해질 연료전지 모듈에 의해 출력된 시뮬레이션 데이터를 이용하여 비선형 자기회귀 신경망(NARX)을 학습하는 단계; 최적화 알고리즘을 이용하여 상기 NARX의 반복적인 시뮬레이션을 통해 기 설정된 시간 간격으로 PEMFC 시스템에 대한 최적의 작동 온도 및 압력을 제공하는 단계; 및 상기 고분자전해질 연료전지 모듈은 상기 최적의 작동 온도 및 압력을 이용하여 PID 제어를 수행하는 단계를 포함한다.

발명의 효과

[0027] 이와 같이 본 발명에 따르면, 고분자전해질 연료전지를 통해 전력을 생산함에 있어서, 음극 입구 습도, 작동 온도 및 작동 압력을 조절하여 고분자전해질 연료전지의 멤브레인 수분 함량을 최적으로 제어하고 이에 따라 전력 생산을 극대화할 수 있다.

[0028] 또한 인공지능 알고리즘을 통해 비선형 데이터를 빠르고 정확하게 산출할 수 있고, 공정 조건을 스스로 제어 및 관리가 가능하다. 또한 에너지 생산을 극대화 함으로써 고분자전해질 연료전지의 수명을 늘리고, 비용을 절감할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0029] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 인공지능 알고리즘을 이용한 고분자전해질 연료전지의 수분조절 시스템의 구성도이다.

도 2는 본 발명의 실시예에 따른 고분자전해질 연료전지 모듈을 설명하기 위한 도면이다.

도 3a는 작동 압력에 따른 고분자전해질 연료전지 모듈의 성능을 설명하기 위한 도면이다.

도 3b는 작동 온도에 따른 고분자전해질 연료전지 모듈의 성능을 설명하기 위한 도면이다.

도 3c는 멤브레인 수분율에 따른 고분자전해질 연료전지 모듈의 성능을 설명하기 위한 도면이다.

도 4는 본 발명의 실시예에 따른 NARX의 구조를 도시하는 도면이다.

도 5는 본 발명의 실시예에 따른 NNMPCC의 구성 및 데이터 흐름을 도시하는 도면이다.

도 6은 본 발명의 실시예에 따른 인공지능 알고리즘을 이용한 고분자전해질 연료전지의 수분조절 방법을 설명하기 위한 순서도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0030] 그러면 첨부한 도면을 참고로 하여 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 실시 예에 한정되지 않는다. 그리고 도면에서 본 발명을 명확하게 설명하기 위해서 설명과 관계없는 부분은 생략하였으며, 명세서 전체를 통하여 유사한 부분에 대해서는 유사한 도면 부호를 붙였다.
- [0031] 명세서 전체에서, 명세서 전체에서, 어떤 부분이 다른 부분과 "연결"되어 있다고 할 때, 이는 "직접적으로 연결"되어 있는 경우뿐 아니라, 그 중간에 다른 소자를 사이에 두고 "전기적으로 연결"되어 있는 경우도 포함한다. 또한 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성요소를 더 포함할 수 있다는 것을 의미한다.
- [0032] 먼저, 도 1 내지 도 3c를 참조하여, 본 발명의 실시예에 따른 인공지능 알고리즘을 이용한 고분자전해질 연료전지의 수분조절 시스템에 대해 살펴보도록 한다.
- [0033] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 인공지능 알고리즘을 이용한 고분자전해질 연료전지의 수분조절 시스템의 구성 도이고, 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 고분자전해질 연료전지 모듈을 설명하기 위한 도면이다.
- [0034] 도 1에서 보는 바와 같이, 본 발명에 따른 수분조절 시스템(100)은 고분자전해질 연료전지(Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell, PEMFC) 모듈(110) 및 제어부(120)를 포함한다.
- [0035] 먼저 고분자전해질 연료전지 모듈(110)은 PEMFC 스택의 동작 관련 데이터를 획득하고 제어 대상으로 사용하기 위해 모델링된 것으로, 예를 들어 MATLAB/Simulink 등과 같은 시뮬레이션 환경에서 PEMFC를 모델링한 것일 수 있다. 고분자전해질 연료전지 모듈(110)은 도 2에 도시된 바와 같이 개별 셀의 양극 채널(Anode CH) 및 음극 채널(Cathode CH)과 멤브레인 전극 조립체(Membrane electrode assembly, MEA)를 포함하고, 여기서 MEA는 두 개의 가스 확산층(GDL)과 멤브레인으로 이루어지며, 보조 시스템으로 공기 압축기(Compressor)와 공기 분출기(Air blower)를 포함하도록 모델링된다.
- [0036] 고분자전해질 연료전지 모듈(110)은 음극 입구 습도, PEMFC 스택의 작동 온도 및 작동 압력의 조작에 따른 전력 생산량, 온도 및 멤브레인 수분 함량을 시뮬레이션하여 시뮬레이션 데이터를 출력한다. 이 경우, 모든 작동 조건에 따른 시뮬레이션 데이터를 출력할 수 있다.
- [0037] 도 3a는 작동 압력에 따른 고분자전해질 연료전지 모듈의 성능을 설명하기 위한 도면이고, 도 3b는 온도에 따른 고분자전해질 연료전지 모듈의 성능을 설명하기 위한 도면이며, 도 3c는 멤브레인 수분율에 따른 고분자전해질 연료전지 모듈의 성능을 설명하기 위한 도면이다.
- [0038] 도 3a 내지 도 3c를 참조하면, 작동 압력, 작동 온도 및 스택 전압은 비례관계를 나타낸다. 따라서 가능한 높은 온도와 압력을 유지하는 것이 높은 전력을 생산하는 데 유리하다. 그러나 높은 작동 압력은 보조 시스템의 기생 전력 소비를 증가시켜 전력을 감소시킬 수 있고, 높은 작동 온도는 포화 증기압을 증가시켜 멤브레인 수분함량을 낮추게 된다. 즉, 높은 작동 압력과 온도는 스택의 수명을 단축시키게 된다. 특히, 도 3c에서 보는 바와 같이, 멤브레인 수분함량의 경우 $\lambda < 6$ (상대습도 75%)에서 전압의 급격한 강하가 발생한다.
- [0039] 이를 기초로, 고분자전해질 연료전지의 수명을 단축시키지 않고, 최대 전력을 생산하기 위해서 작동 조건으로 작동 온도는 313~358 K, 작동 압력은 1~1.5 bar, 그리고 멤브레인 수분함량이 6 이상으로 설정하고 학습 범위 및 제어 제약 조건의 경계로 적용한다.

[0040] 다음으로 제어부(120)는 고분자전해질 연료전지 모듈(110)에 의해 출력된 시뮬레이션 데이터를 이용하여 학습모델을 학습시킨다. 구체적으로, 제어부(120)는 음극 입구 습도, PEMFC 스택의 작동 온도 및 작동 압력을 입력 데이터로 설정하고, 멤브레인 수분 함량 및 전력 생산량을 출력 데이터로 설정하여 학습을 진행한다. 여기서, 학습모델은 외생적인 입력을 갖는 비선형 자기회귀 신경망(nonlinear autoregressive network with exogenous inputs, NARX)일 수 있으며, 이를 PEMFC 시스템의 대리 모델로 사용한다.

[0041] 또한, NARX의 학습에 사용하기 위해 베이지안 최적화를 통해 최적의 학습 파라미터(즉, 활성화 함수, 계층 수, 학습률 등)를 도출한다.

[0042] 도 4는 본 발명의 실시예에 따른 NARX의 구조를 도시하는 도면이다.

[0043] 도 4를 참조하면, 시간 k 에서, NARX의 입력은 작동 온도 설정값 T_{sp} , 작동 압력 설정값 P_{sp} , 음극 입구 습도 RH_{in} , 및 전류 부하 Current를 포함한다. 또한, 동적 거동을 적절하게 반영하기 위한 다른 입력으로 시간 $k-1$ 에서의 NARX의 출력을 사용하며, 시스템 전력 P_{sys} , 스택 온도 T , 멤브레인 수분함량 λ_{avg} 를 포함한다. 이러한 입력으로부터 NARX는 시간 k 에서의 시스템 전력 P_{sys} , 스택 온도 T , 멤브레인 수분함량 λ_{avg} 을 출력한다.

[0044] 또한, 제어부(120)는 모델 예측 제어(model predictive control, MPC)와 통합하여 다양한 전류 부하 변화에서 PEMFC 시스템을 작동하기 위한 최적의 조건을 제공하는 신경망 모델 예측 제어(neural network model predictive control, NNMPC)를 구성할 수 있다.

[0045] 일 실시예에 따르면, 제어 시나리오는 복수의 전류 부하 프로파일(예를 들어, 낮은, 중간 및 고 전류)로 구성되며, 최적화 알고리즘을 사용하여 NARX의 반복적인 시뮬레이션을 통해 기 설정된 시간 간격(예를 들어, 수 초)으로 PEMFC 시스템에 대한 최적의 작동 온도 및 압력을 제공한다.

[0046] 도 5는 본 발명의 실시예에 따른 NNMPC의 구성 및 데이터 흐름을 도시하는 도면이다.

[0047] 도 5에 도시된 바와 같이, PEMFC 모듈(110)의 데이터를 기반으로 훈련된 NARX를 대리 모델로 활용하여 최적의 동작 조건을 도출한다.

[0048] PEMFC 모듈(110)의 동작 데이터가 제어부(120)로 전달되면, 제어부(120)는 먼저 NARX의 미래 출력을 시뮬레이션한다. 이후, 최대 전력을 위한 온도 설정점, 압력 설정점 및 음극 입구 습도 값이 도출되고, 도출된 값은 다시 PEMFC 모듈(110)로 전송되어 전달된 온도 및 압력 설정점으로 PID(비례-적분-미분) 제어가 수행된다.

[0049] 공기 냉각기와 공기 압축기에 PID 제어를 적용하여 시스템의 작동 온도와 압력을 제어한다. 최적화의 목적 함수는 하기의 수학식 1과 같다.

[0050] [수학식 1]

$$J = \min \sum_{i=1}^P [-W_1 P_{sys} + W_2 (\Delta u)^2]$$

$$\lambda_{avg} \geq 6$$

$$Constraints \quad , \quad 313.15 \leq T_{sp} \leq 358.15$$

$$1bar \leq P_{sp} \leq 1.5bar$$

[0051]

[0052] 목적 함수 J 는 시스템 전력 P_{sys} 을 최대화하고, 입력변수의 변화량 합을 최소화하도록 구성되며, 제약 조건은 평균 멤브레인 수분함량(λ_{avg})이 75% 상대 습도(즉, 6) 이상, 작동 온도는 313.15~358.15 K, 작동 압력은 1~1.5 bar로 설정된다.

[0053] 이하에서는 도 6을 참조하여 본 발명의 실시예에 따른 수분조절 시스템(100)을 이용한 인공지능 알고리즘을 이용한 고분자전해질 연료전지의 수분조절 방법에 대해 살펴보도록 한다.

[0054] 도 6을 참조하면, 먼저, 고분자전해질 연료전지 스택을 모델링한 고분자전해질 연료전지 모듈에 의해 음극 입구 습도, PEMFC 스택의 작동 온도 및 작동 압력의 조작에 따른 전력 생산량, 온도 및 멤브레인 수분 함량을 시뮬레이션한다(S610).

- [0055] 이후, 고분자전해질 연료전지 모듈에 의해 출력된 시뮬레이션 데이터를 이용하여 비선형 자기회귀 신경망(NARX)을 학습한다(S620).
- [0056] 이후, 최적화 알고리즘을 이용하여 NARX의 반복적인 시뮬레이션을 통해 기 설정된 시간 간격으로 PEMFC 시스템에 대한 최적의 작동 온도 및 압력을 제공한다(S630).
- [0057] 이후, 고분자전해질 연료전지 모듈은 최적의 작동 온도 및 압력을 이용하여 PID 제어를 수행한다(S640).
- [0058] 각 단계에 대한 구체적인 내용은 도 1 내지 도 5를 참조하여 상술한 바와 동일하므로 이에 대한 중복적인 설명은 생략한다.
- [0059] 이와 같이, 본 발명의 실시예에 따르면 고분자전해질 연료전지를 통해 전력을 생산함에 있어서, 음극 입구 습도, 작동 온도 및 작동 압력을 조절하여 고분자전해질 연료전지의 멤브레인 수분 함량을 최적으로 제어하고 이에 따라 전력 생산을 극대화할 수 있다.
- [0060] 또한 인공지능 알고리즘을 통해 비선형 데이터를 빠르고 정확하게 산출할 수 있고, 공정 조건을 스스로 제어 및 관리가 가능하다. 또한 에너지 생산을 극대화 함으로써 고분자전해질 연료전지의 수명을 늘리고, 비용을 절감할 수 있다.
- [0061] 본 발명은 도면에 도시된 실시예를 참고로 설명되었으나 이는 예시적인 것에 불과하며, 본 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 다른 실시예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서, 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 특허청구범위의 기술적 사상에 의하여 정해져야 할 것이다.

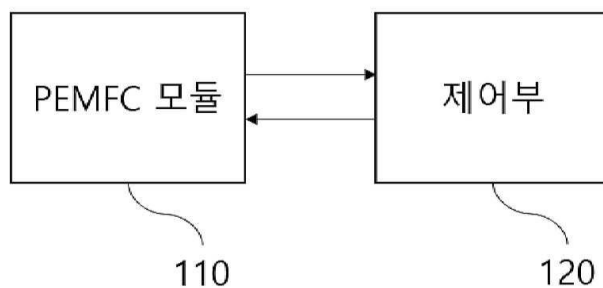
부호의 설명

- [0062] 100: 수분조절 시스템
110: PEMFC 모듈
120: 제어부

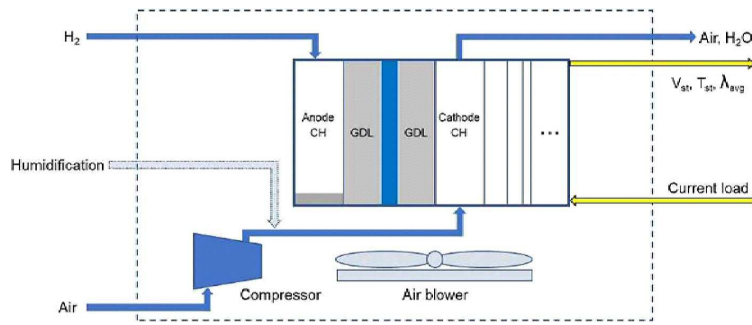
도면

도면1

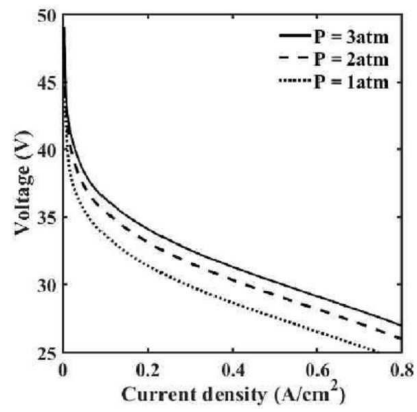
100



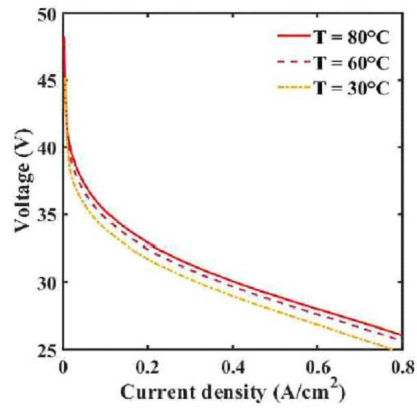
도면2



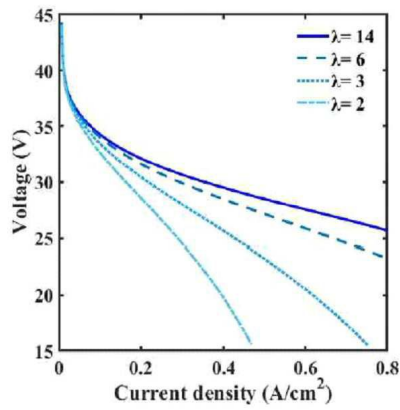
도면3a



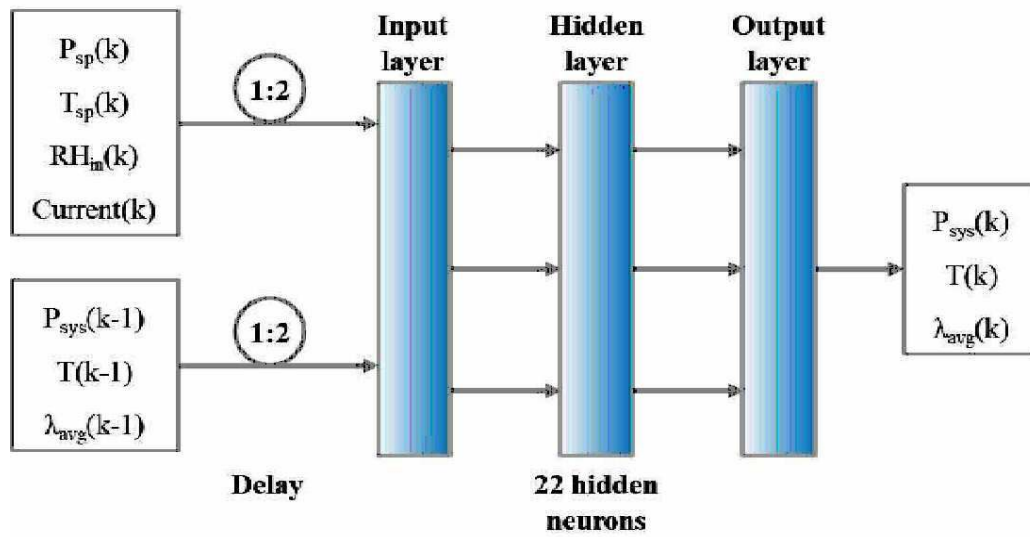
도면3b



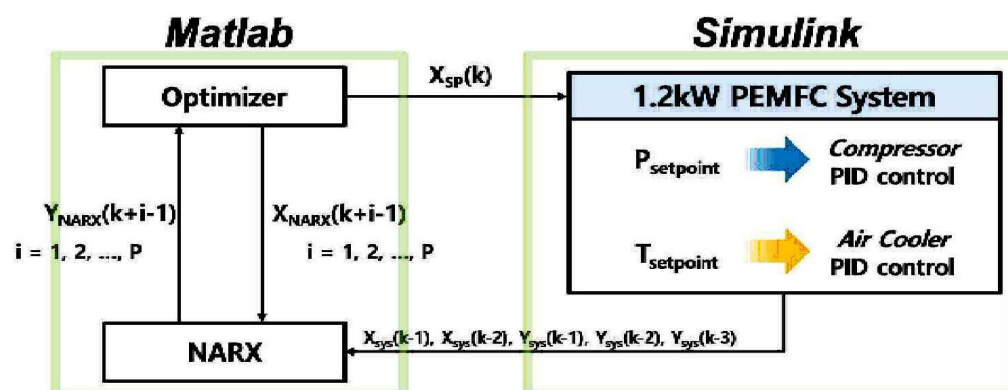
도면3c



도면4



도면5



도면6

