(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0007979
(43) 공개일자 2024년01월18일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C02F 1/00 (2023.01) *B01D 61/42* (2006.01)
C02F 1/469 (2006.01) *G06N 3/08* (2023.01)
(52) CPC특허분류
C02F 1/008 (2013.01)
B01D 61/428 (2022.08)
(21) 출원번호 10-2022-0084733
(22) 출원일자 2022년07월11일
심사청구일자 2022년07월11일

(71) 출원인
울산과학기술원
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
(72) 발명자
조경화
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
심재규
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
윤나경
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
(74) 대리인
특허법인태백

전체 청구항 수 : 총 13 항

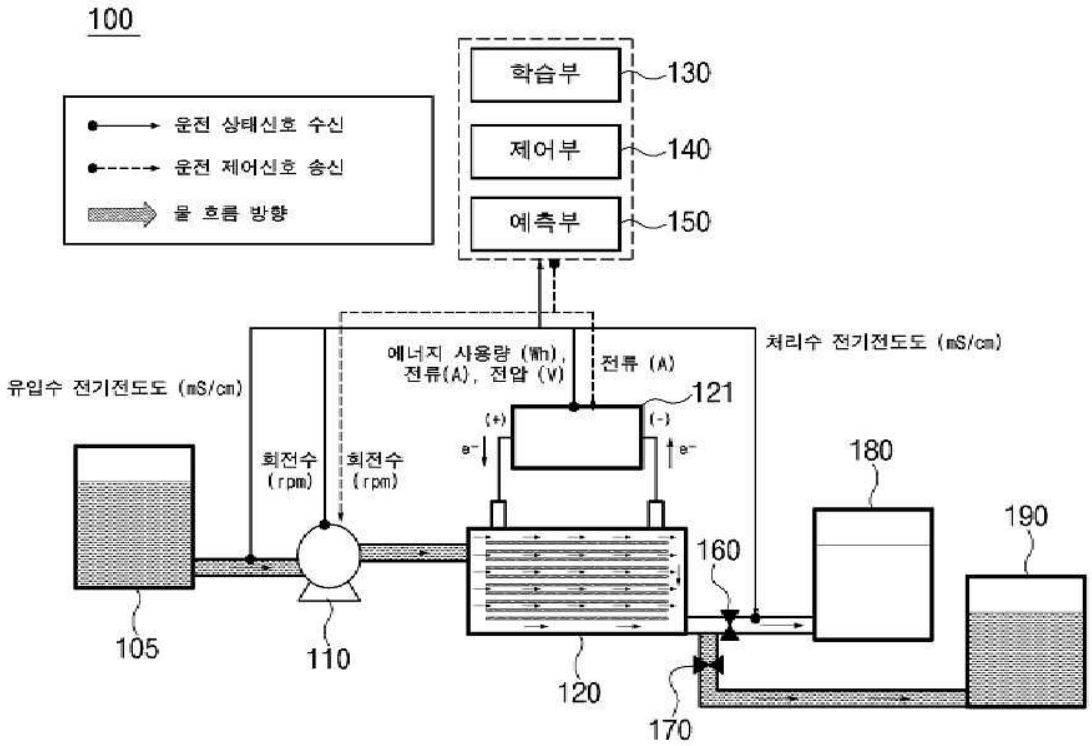
(54) 발명의 명칭 **심층 강화학습을 기반으로 하는 MCDI 수처리 자동 제어 시스템 및 그 방법**

(57) 요 약

본 발명은 심층 강화학습을 기반으로 하는 MCDI 수처리 자동 제어 장치 및 그 방법에 관한 것이다. 본 발명에 따르면, 심층 강화학습을 기반으로 하는 MCDI 수처리 제어 시스템에 있어서, 이온성 물질이 포함된 유입수가 펌프를 거쳐서 유입되면, 상기 유입수로부터 이온성 물질을 제거하여 담수 처리를 수행하는 MCDI(Membrane

(뒷면에 계속)

대 표 도 - 도1



Capacitive Deionization) 모듈, 상기 펌프의 회전수 및 상기 MCDI 모듈에 인가되는 전류의 크기를 입력데이터로 설정하고, 상기 유입수의 전기전도도와 상기 MCDI 모듈에 의해 담수 처리된 처리수의 전기전도도의 차이 값과 상기 MCDI 모듈의 에너지 사용량을 출력데이터로 설정하여 강화학습모델에 적용하여 강화학습을 진행하는 학습부, 새로 유입되는 유입수에 대하여 기 학습된 상기 강화학습모델을 적용하여 상기 펌프의 회전수, 상기 MCDI 모듈에 인가되는 전류의 크기에 대한 공정 조건을 제어하는 제어부, 그리고 상기 처리수의 전기전도도 및 에너지 사용량을 예측하는 예측부를 포함한다.

이와 같이 본 발명에 따르면, 심층 강화학습 모델을 통해 정수처리에서 각 공정마다 최적의 공정 조건을 정확하고 빠르게 제공할 수 있다.

(52) CPC특허분류
C02F 1/4691 (2013.01)
G06N 3/08 (2023.01)
B01D 2311/243 (2013.01)
B01D 2313/903 (2022.08)
C02F 2209/05 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711158453
과제번호	2020R1A4A1019568
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	집단연구지원
연구과제명	해수전지기술과 태양광에너지 활용한 에너지 자립형 해수담수화 기술
기 여 율	1/1
과제수행기관명	울산과학기술원
연구기간	2022.03.01 ~ 2023.02.28

명 세 서

청구범위

청구항 1

강화학습을 기반으로 하는 MCDI 수처리 제어 시스템에 있어서,

염화 나트륨(NaCl)이 포함된 유입수가 펌프를 거쳐서 유입되면, 상기 유입수로부터 염화 나트륨을 제거하여 담수 처리를 수행하는 MCDI(Membrane Capacitive Deionization) 모듈,

상기 펌프의 회전수 및 상기 MCDI 모듈에 인가되는 전류의 크기를 입력데이터로 설정하고, 상기 유입수의 전기전도도와 상기 MCDI 모듈에 의해 담수 처리된 처리수의 전기전도도의 차이 값과 상기 MCDI 모듈의 에너지 사용량을 출력데이터로 설정하여 강화학습모델에 적용하여 강화학습을 진행하는 학습부,

상기 처리수의 전기전도도 및 에너지 사용량을 예측하는 예측부, 그리고

새로 유입되는 유입수에 대하여 기 학습된 상기 강화학습모델을 적용하여 상기 펌프의 회전수, 상기 MCDI 모듈에 인가되는 전류의 크기에 대한 공정 조건을 제어하는 제어부를 포함하는 MCDI 수처리 제어 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 학습부는,

상기 유입수의 전기전도도와 상기 처리수의 전기전도도의 차이가 최대가 되도록 상기 강화학습모델을 학습시키는 MCDI 수처리 제어 시스템.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 학습부는,

상기 유입수의 전기전도도와 상기 처리수의 전기전도도의 차이가 기준값보다 큰 상태에서 상기 MCDI 모듈의 에너지 사용량이 최소가 되도록 하는 상기 강화학습모델을 학습시키는 MCDI 수처리 제어 시스템.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 MCDI 모듈은,

이격되어 설치된 복수의 탄소 전극,

전원공급부로부터 전류를 인가받는 전위 가변기(Potentiostat)를 포함하며,

이온성 물질이 제거된 처리수를 처리수 탱크로 전달하고, MCDI 모듈에 의해 제거된 이온성 물질을 포함하는 농축수를 농축수 탱크로 전달하는 MCDI 수처리 제어 시스템.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 MCDI 모듈은 상기 예측부로 상기 MCDI 모듈에 인가된 전류 및 측정된 전압의 크기를 전달하고,

상기 예측부는,

상기 전달된 전류 및 전압의 크기로부터 상기 MCDI 모듈의 에너지 사용량을 예측하는 MCDI 수처리 제어 시스템.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 제어부는

상기 측정된 전압의 크기가 1.2V까지 상승하면, 상기 MCDI 모듈이 상기 유입수의 담수 처리를 중지시키고 세척하도록 제어하는 MCDI 수처리 제어 시스템.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 MCDI 모듈과 처리수 탱크 사이에 위치하는 제1 밸브, 그리고

상기 MCDI 모듈과 농축수 탱크 사이에 위치하는 제2 밸브를 더 포함하는 MCDI 수처리 제어 시스템.

청구항 8

강화학습을 기반으로 하는 MCDI 수처리 제어 시스템에 의해 수행되는 수처리 제어 방법에 있어서,

이온성 물질이 포함된 유입수가 펌프를 거쳐서 유입되면, MCDI(Membrane Capacitive Deionization) 모듈은 상기 유입수로부터 이온성 물질을 제거하여 담수 처리를 수행하는 단계,

상기 펌프의 회전수 및 상기 MCDI 모듈에 인가되는 전류의 크기를 입력데이터로 설정하고, 상기 유입수의 전기전도도와 상기 MCDI 모듈에 의해 담수 처리된 처리수의 전기전도도의 차이 값과 상기 MCDI 모듈의 에너지 사용량을 출력데이터로 설정하여 강화학습모델에 적용하여 강화학습을 진행하는 단계,

새로 유입되는 유입수에 대하여 기 학습된 상기 강화학습모델을 적용하여 상기 펌프의 회전수, 상기 MCDI 모듈에 인가되는 전류의 크기에 대한 공정 조건을 제어하는 단계, 그리고

상기 처리수의 전기전도도 및 에너지 사용량을 예측하는 단계를 포함하는 MCDI 수처리 제어 방법.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 강화학습을 진행하는 단계는,

상기 유입수의 전기전도도와 상기 처리수의 전기전도도의 차이가 최대가 되도록 상기 강화학습모델을 학습시키는 MCDI 수처리 제어 방법.

청구항 10

제8항에 있어서,

상기 강화학습을 진행하는 단계는,

상기 유입수의 전기전도도와 상기 처리수의 전기전도도의 차이가 기준값보다 큰 상태에서 상기 MCDI 모듈의 에너지 사용량이 최소가 되도록 하는 상기 강화학습모델을 학습시키는 MCDI 수처리 제어 방법.

청구항 11

제8항에 있어서,

상기 MCDI 모듈은,

이격되어 설치된 복수의 탄소 전극,

전원공급부로부터 전류를 인가받는 전위 가변기(Potentiostat)를 포함하며,

이온성 물질이 제거된 처리수를 처리수 탱크로 전달하고, MCDI 모듈에 의해 제거된 이온성 물질을 포함하는 농축수를 농축수 탱크로 전달하는 MCDI 수처리 제어 방법.

청구항 12

제8항에 있어서,

상기 처리수의 전기전도도 및 에너지 사용량을 예측하는 단계는,

상기 MCDI 모듈에 인가된 전류 및 측정된 전압의 크기를 이용하여 상기 MCDI 모듈의 에너지 사용량을 예측하는 MCDI 수처리 제어 방법.

청구항 13

제12항에 있어서,

상기 공정 조건을 제어하는 단계는

상기 측정된 전압의 크기가 1.2V까지 상승하면, 상기 MCDI 모듈이 상기 유입수의 담수 처리를 중지시키고 세척하도록 제어하는 MCDI 수처리 제어 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 심층 강화학습을 기반으로 하는 MCDI 수처리 자동 제어 시스템 및 그 방법에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 MCDI모듈을 이용하여 유입수로부터 이온성 물질을 효과적으로 제거하기 위한 심층 강화학습 모델을 기반으로 하는 수처리 자동 제어 시스템 및 그 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 정수처리 과정 중 이온성 물질을 제거를 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그 중 축전식 탈염(Capacitive Deionization, CDI)은 표면적이 넓고 전기전도성이 우수한 전극을 사용하고, 전극에 전위를 인가했을 때, 전기적 인력 또는 척력에 의해 이온이 흡착 및 탈착되는 원리를 이용하여 원수에 포함되어 있는 이온성 물질을 제거하는 기술이다.

[0003] 음극에는 양이온이 흡착되고 양극에는 음이온이 흡착되도록 하고, 전극이 계속적으로 이온성 물질을 흡착하게 되면 전극은 더 이상 이온성 물질을 흡착할 수 없는 포화상태에 이르게 되는데, 포화상태에 이르게 되면 전극에 쇼트(short) 또는 전극에 흡착 전위와 반대 전위를 인가하여 각 전극에 흡착된 이온성 물질들을 탈착하여 전극을 재생시킨다. 이와 같은 과정으로 정수처리 과정 중 이온성 물질을 제거할 수 있다.

[0004] 또한 CDI는 전극의 전위만을 변화시켜서 흡착과 탈착이 이루어지기 때문에 수처리 과정에서 환경 오염 물질을 배출하지 않기 때문에 환경 친화적인 공정이다.

[0005] 상기 CDI로부터 개량된 MCDI(Membrane Capacitive Deionization)는 전극에 이온교환막을 결합하여, 이온이 선택적으로 투과되어 전극에 흡착 및 탈착되도록 한다.

[0006] 하지만 종래의 CDI 및 MCDI 방식을 이용한 정수 처리 시스템은 각 공정마다 공정 조건을 관리자가 직접 제어해야 하므로, 정확한 최적의 공정 조건을 제공하기 어려운 문제가 있다.

[0007] 따라서, 정수처리 공정에서 최적의 공정 조건을 제공하기 위한 기술이 요구되고 있다.

[0008] 본 발명의 배경이 되는 기술은 대한민국등록특허 제10-2275921호(2021.07.12. 공고)에 개시되어 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0009] 본 발명은MCDI모듈을 이용하여 유입수로부터 이온성 물질을 효과적으로 제거하기 위하여 심층 강화학습을 기반으로 유입수에 포함되어 있는 이온성 물질을 제거하는 MCDI 수처리 제어 시스템 및 그 방법을 제공하는데 목적이 있다.

과제의 해결 수단

[0010] 이러한 기술적 과제를 이루기 위한 본 발명의 실시예에 따르면, 강화학습을 기반으로 하는 MCDI 수처리 제어 시스템에 있어서, 이온성 물질이 포함된 유입수가 펌프를 거쳐서 유입되면, 상기 유입수로부터 이온성 물질을 제

거하여 담수 처리를 수행하는 MCDI(Membrane Capacitive Deionization) 모듈, 상기 펌프의 회전수 및 상기 MCDI 모듈에 인가되는 전류의 크기를 입력데이터로 설정하고, 상기 유입수의 전기전도도와 상기 MCDI 모듈에 의해 담수 처리된 처리수의 전기전도도의 차이 값과 상기 MCDI 모듈의 에너지 사용량을 출력데이터로 설정하여 강화학습모델에 적용하여 강화학습을 진행하는 학습부, 새로 유입되는 유입수에 대하여 기 학습된 상기 강화학습모델을 적용하여 상기 펌프의 회전수, 상기 MCDI 모듈에 인가되는 전류의 크기에 대한 공정 조건을 제어하는 제어부, 그리고 상기 처리수의 전기전도도 및 에너지 사용량을 예측하는 예측부를 포함한다.

[0011] 상기 학습부는, 상기 유입수의 전기전도도와 상기 처리수의 전기전도도의 차이가 최대가 되도록 상기 강화학습모델을 학습시킬 수 있다.

[0012] 상기 학습부는, 상기 유입수의 전기전도도와 상기 처리수의 전기전도도의 차이가 기준값보다 큰 상태에서 상기 MCDI 모듈의 에너지 사용량이 최소가 되도록 하는 상기 강화학습모델을 학습시킬 수 있다.

[0013] 상기 MCDI 모듈은, 이격되어 설치된 복수의 탄소 전극, 전원공급부로부터 전류를 인가받는 전위 가변기(Potentiostat)를 포함하며, 이온성 물질이 제거된 처리수를 처리수 탱크로 전달하고, MCDI 모듈에 의해 제거된 이온성 물질을 포함하는 농축수를 농축수 탱크로 전달할 수 있다.

[0014] 상기 MCDI 모듈은 상기 예측부로 상기 MCDI 모듈에 인가된 전류 및 측정된 전압의 크기를 전달하고, 상기 예측부는, 상기 전달된 전류 및 전압의 크기로부터 상기 MCDI 모듈의 에너지 사용량을 예측할 수 있다.

[0015] 상기 제어부는 상기 측정된 전압의 크기가 1.2V까지 상승하면, 상기 MCDI 모듈이 상기 유입수의 담수 처리를 중지시키고 세척하도록 제어할 수 있다.

[0016] 상기 MCDI 모듈과 처리수 탱크 사이에 위치하는 제1 밸브, 그리고 상기 MCDI 모듈과 농축수 탱크 사이에 위치하는 제2 밸브를 더 포함할 수 있다.

[0017] 본 발명의 다른 실시예에 따르면, 강화학습을 기반으로 하는 MCDI 수처리 제어 시스템에 의해 수행되는 수처리 제어 방법에 있어서, 이온성 물질이 포함된 유입수가 펌프를 거쳐서 유입되면, MCDI(Membrane Capacitive Deionization) 모듈은 상기 유입수로부터 이온성 물질을 제거하여 담수 처리를 수행하는 단계, 상기 펌프의 회전수 및 상기 MCDI 모듈에 인가되는 전류의 크기를 입력데이터로 설정하고, 상기 유입수의 전기전도도와 상기 MCDI 모듈에 의해 담수 처리된 처리수의 전기전도도의 차이 값과 상기 MCDI 모듈의 에너지 사용량을 출력데이터로 설정하여 강화학습모델에 적용하여 강화학습을 진행하는 단계, 새로 유입되는 유입수에 대하여 기 학습된 상기 강화학습모델을 적용하여 상기 펌프의 회전수, 상기 MCDI 모듈에 인가되는 전류의 크기에 대한 공정 조건을 제어하는 단계, 그리고 상기 처리수의 전기전도도 및 에너지 사용량을 예측하는 단계를 포함한다.

발명의 효과

[0018] 이와 같이 본 발명에 따르면, 본 발명은 MCDI 모듈을 이용하여 유입수로부터 이온성 물질을 제거함에 있어서, 유입수의 전기전도도와 처리수의 전기전도도의 차이가 최대가 되도록 하거나, MCDI모듈의 에너지 사용량이 최소가 되도록 한다.

[0019] 또한, 심층 강화학습 모델을 통해 정수처리에서 각 공정마다 최적의 공정 조건을 정확하고 빠르게 제공할 수 있고, 공정 조건을 스스로 제어 및 관리함으로써, 빠르고 안정적으로 수처리를 수행할 수 있다. 또한 에너지 소비율을 줄임으로써 높은 에너지 효율을 제공한다.

도면의 간단한 설명

[0020] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 심층 강화학습 기반의 MCDI 수처리 제어 시스템을 설명하기 위한 도면이다.

도 2는 본 발명의 실시예에 따른 심층 강화학습 기반의 MCDI 수처리 제어 시스템의 구성도이다.

도 3은 도 2에 따른 MCDI 모듈의 구성을 설명하기 위한 도면이다.

도 4는 본 발명의 실시예에 따른 심층 강화학습 기반의 MCDI 수처리 제어 시스템을 이용한 MCDI 수처리 자동 제어 방법에서 강화학습방법을 설명하기 위한 순서도이다.

도 5는 본 발명의 실시예에 따른 심층 강화 학습 기반의 MCDI 수처리 제어 시스템을 이용한 MCDI 수처리 자동 제어 방법에서 유입수의 담수 과정을 설명하기 위한 순서도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0021] 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.

[0022] 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.

[0023] 그러면 첨부한 도면을 참고로 하여 본 발명의 실시예에 대하여 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 상세히 설명한다.

[0024] 먼저, 도 1 내지 도 3을 통해 본 발명의 실시예에 따른 심층 강화학습 기반의 MCDI 수처리 제어 시스템에 대해 살펴보도록 한다.

[0025] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 심층 강화학습 기반의 MCDI 수처리 제어 시스템을 설명하기 위한 도면이고, 도 2는 도 1에 도시한 MCDI 수처리 제어 시스템의 구성도이다.

[0026] 도 1에서 보는 바와 같이, 본 발명에 따른 MCDI 수처리 제어 시스템(100)은 심층 강화학습 기반의 MCDI 수처리 제어를 하기 위한 것이다.

[0027] 먼저, 이온성 물질을 포함한 유입수는 유입수 탱크(105)에서 펌프(110)로 유입된다. 펌프(110)는 이온성 물질을 포함한 유입수를 회전 시켜 MCDI(Membrane Capacitive Deionization) 모듈(120)로 유입시킨다.

[0028] 펌프(110)의 회전수는 MCDI 모듈(120)에서 유입수의 체류시간을 조절할 수 있다.

[0029] 전위 가변기(121)는 전원공급부로부터 전류를 인가받고, MCDI 모듈(120)에 설치된 탄소전극에 전류를 인가한다.

[0030] 전위 가변기(121)는 각종 조건의 변화에 상관없이 사전에 설정한 값을 유지할 수 있고 전위 및 전류 등을 제어하는 동시에 측정이 가능한 장치이다.

[0031] 여기서 펌프(110)의 회전수 및 전위 가변기(121)에 인가 되는 전류는 학습부(131), 제어부(140) 및 예측부(150)에서 수행하는 강화학습을 통해 정해진다.

[0032] 유입수에 포함된 이온성 물질은 전기적 인력에 의해 탄소전극에 흡착되어 담수처리가 진행된다. 담수처리는 사용자의 설정이나 목적에 따라 유입수에 포함된 이온성 물질을 완벽하게 제거하거나 이온성 물질을 일정 수준 이하로 제거하는 과정이다. 단말기는 제1 밸브(160)는 열고 제2 밸브(170)는 닫는 제어 신호를 송신한다. 이온성 물질을 미포함하는 처리수는 처리수 탱크(180)로 전달된다.

[0033] 그리고, 모듈 세척이 진행되면 탄소전극으로부터 이온성 물질이 탈착된다. 모듈 내 유입수는 탄소전극으로부터 탈착된 이온성 물질이 포함된 농축수가 된다. 단말기는 제1 밸브(160)는 닫고 제2 밸브(170)는 여는 제어 신호를 송신한다. 탄소전극으로부터 탈착된 이온성 물질을 포함하는 농축수는 농축수 탱크(190)로 전달된다.

[0034] 제1 밸브(160)는 MCDI 모듈(120)과 처리수 탱크(180) 사이에 위치하고, 제2 밸브(180)는 MCDI 모듈(120)과 농축수 탱크(190) 사이에 위치한다.

[0035] 도 2에서 보는 바와 같이, 본 발명에 따른 MCDI 수처리 제어 시스템(100)의 구성은 MCDI 모듈(120), 학습부(130), 제어부(140), 예측부(150)를 포함한다.

[0036] 먼저 MCDI 모듈(120)은 도 3과 같이 복수의 탄소 전극이 이격 설치되어 구성된다.

[0037] 도 3은 도 2에 따른 MCDI 모듈의 구성을 설명하기 위한 도면이다.

[0038] 도 2 및 도 3에서 보는 바와 같이 MCDI 모듈(120)은 탄소 전극간 일정한 간격을 유지하기 위한 공간 또는 구조체를 의미하는 스페이서(spacer)를 기준으로 상측은 유입구(inlet) 및 유출구(outlet)가 포함된 상부 덮개(Cover plate), 캐소드 형태의 탄소전극(Carbon electrode[cathode])이 이격 설치 되어있다. 스페이서를 기준

으로 하측은 애노드 형태의 탄소전극(carbon electrode[anode]), 하부 덮개(Cover plate)가 이격 설치 되어있다. 양이온 교환막(cation exchange membrane) 또는 음이온 교환막(anion exchange membrane)은 이온교환 성능을 가지는 물질을 탄소전극 위에 도포함으로써 탄소전극에 부착될 수 있다.

[0039] 여기서, 이온성 물질을 포함한 유입수는 유입구를 통해 MCDI 모듈(120)에 들어와 담수처리과정을 거친다. 담수처리과정 후 생성된 처리수 및 농축수는 유출구를 통해 MCDI 모듈(120)에서 빠져나가 처리수 탱크 또는 농축수 탱크로 전달된다.

[0040] 또한, 양이온 교환막 및 음이온 교환막은 이온을 선택적으로 통과 시킬 수 있다. MCDI 모듈(120)은 이온 교환막을 통하여 담수처리과정을 진행 함으로써 효과적으로 담수처리를 할 수 있다.

[0041] 다음으로 학습부(130)는 펌프(110)의 회전수(rpm) 및 MCDI 모듈(120)에 인가되는 전류(A)의 크기를 입력데이터로 설정하고, 이온성 물질을 포함한 유입수의 전기전도도(mS/cm)와 MCDI 모듈(120)에 의해 담수 처리된 처리수의 전기전도도(mS/cm)의 차이 값과 MCDI 모듈(120)의 에너지 사용량(Wh)을 출력데이터로 설정하여 강화학습을 진행한다.

[0042] 그리고 학습부(130)는 유입수의 전기전도도와 처리수의 전기전도도의 차이가 최대가 되도록 하거나 유입수의 전기전도도와 처리수의 전기전도도의 차이가 기준값보다 클 때, MCDI 모듈(120)의 에너지 사용량이 최소가 되도록 강화학습을 할 수 있다.

[0043] 예측부(150)는 펌프(110)의 회전수(rpm) 및 MCDI 모듈(120)에 인가되는 전압(V) 및 전류(A)의 크기를 이용하여 처리수의 전기전도도(mS/cm) 및 에너지 사용량(Wh)을 예측한다.

[0044] 예측부(150)는 MCDI 모듈(120)에 인가된 전류 및 측정된 전압의 크기로부터 에너지 사용량을 예측한다.

[0045] 다음으로 제어부(140)는 새로 유입되는 유입수에 대하여 기 학습된 강화학습모델을 적용하여 펌프(110)의 회전수(rpm), MCDI 모듈(120)에 인가되는 전류(A)의 크기에 대한 공정 조건을 제어한다.

[0046] MCDI 모듈(120)에 인가되는 전류(A)의 크기에 따라 MCDI 모듈(120)에서 측정되는 전압의 크기는 변화한다.

[0047] 제어부(140)는 MCDI 모듈(120)에서 측정된 전압의 크기가 1.2V까지 상승하거나 MCDI 모듈(120)이 더 이상 수처리를 할 수 없는 상태가 되면, MCDI 모듈(120)의 유입수의 담수 처리를 중지시키고 MCDI 모듈(120)을 세척하도록 제어한다.

[0048] 여기서 전압 1.2V 이상은 물 분해 반응이 일어날 수 있는 범위로서, 전기에너지가 탄소전극에 공급되어 전기적 인력을 유지하는 것 외에 물 분해 반응에 사용되기 때문에 소비에너지 대비 탈염효율이 감소할 수 있다. 따라서, 전압을 1.2V 이하로만 유지한다면 물 분해 반응이 일어나지 않으므로 탈염 효율을 유지하면서, 낮은 에너지 사용량으로 수처리를 할 수 있다.

[0049] 그리고 학습부(130), 제어부(140) 및 예측부(150)는 도 1에 나타낸 것처럼 별도의 단말기에 일체화 될 수 있다.

[0050] 이하에서는 도 4 및 도 5를 이용하여 본 발명의 실시예에 따른 MCDI 수처리 시스템(100)을 이용한 심층 강화학습을 기반으로 한 MCDI 수처리 제어 방법에 대해 살펴보도록 한다.

[0051] 이하에서는 도 4를 통하여 본 발명의 실시예에 따른 심층 강화학습을 하는 과정에 대해 설명한다.

[0052] 도 4는 본 발명의 실시예에 따른 강화학습방법을 설명하기 위한 순서도이다.

[0053] 먼저, 도 1 및 도 4에서 보는 바와 같이 유입수 탱크(105)에 이온성 물질을 포함하는 유입수가 유입되면, 펌프(110)는 유입수를 MCDI 모듈(120)로 전달한다(S410).

[0054] 다음으로, 학습부(130)는 펌프의 회전수(rpm), MCDI 모듈(120)에 인가되는 전류(A)의 크기, MCDI 모듈의 에너지 사용량(Wh), 유입수의 전기전도도(mS/cm) 및 처리수의 전기전도도(mS/cm)의 측정값을 입력받는다(S420).

[0055] 즉, 센서부(도시하지 않음)는 현재 담수처리 과정에서 펌프의 회전수(rpm)와 MCDI 모듈(120)에 인가되는 전류(A)의 크기를 실시간으로 측정하고, 측정된 데이터를 학습부(130)로 전달한다.

[0056] 다음으로, 학습부(130)는 실시간으로 입력된 데이터를 이용하여 유입수의 전기전도도(mS/cm)와 처리수의 전기전도도(mS/cm)의 차이가 최대가 되도록 강화학습모델을 학습한다(S430).

[0057] 즉, 학습부(130)는 펌프의 회전수 및 MCDI 모듈(120)에 인가되는 전류의 크기를 입력데이터로 설정하고, 유입수의 전기전도도와 MCDI 모듈(120)에 의해 담수 처리된 처리수의 전기전도도의 차이 값과 MCDI 모듈(120)의 에너

지 사용량을 출력데이터로 설정하여 강화학습모델을 학습시킨다.

[0058] 또한 유입수의 전기전도도와 처리수의 전기전도도의 차이가 기준값보다 클 때, MCDI 모듈의 에너지 사용량(Wh)이 최소가 되도록 학습시킬 수도 있다.

[0059] 여기서 강화학습모델은 LSTM(long short-term memory) 모델로서, 기존 RNN 모델과 달리 먼 과거의 데이터를 이용하는 학습이 가능한 딥러닝 시스템이다.

[0060] 도 4와 같이 학습과정을 통하여 강화학습모델의 학습이 완료되면, 새로 유입되는 유입수에 대하여 기 학습된 강화학습모델을 통하여 담수 처리를 진행할 수 있는 바, 이하에서는 도 5를 통하여 유입수의 담수 처리 방법에 대하여 설명한다.

[0061] 도 5는 본 발명의 실시예에 따른 MCDI 수처리 자동 제어 방법을 설명하기 위한 순서도이다.

[0062] 도 1 및 도 5에서 보는 바와 같이, 유입수 탱크(105)에 이온성 물질이 포함된 새로운 유입수가 유입되면, 펌프(110)를 거쳐서 유입수를 MCDI 모듈(120)로 전달한다(S510).

[0063] 예측부(150)는 펌프(110)의 회전수, MCDI 모듈(120)에 인가되는 전류의 크기 및 유입수의 전기전도도를 입력받는다(S520).

[0064] 즉, 센서부(도시하지 않음)는 현재 담수처리 과정에서 펌프의 회전수(rpm), MCDI 모듈(120)에 인가되는 전류(A)의 크기 및 유입수의 전기전도도를 실시간으로 측정하고, 측정된 데이터를 학습부(130)로 전달한다.

[0065] 예측부(150)는 처리수의 전기전도도와 에너지 사용량을 예측한다(S530).

[0066] 즉, 예측부(150)는 MCDI 모듈(120)에 인가되는 전류의 크기 및 유입수의 전기전도도를 기 학습된 강화학습모델에 적용하여, 처리수의 전기전도도와 에너지 사용량을 예측할 수 있다.

[0067] 특히, 예측부(150)는 측정된 유입수의 전기전도도와 예측된 처리수의 전기전도도의 차이를 이용하여 유입수와 처리수의 전기전도도의 차이를 연산할 수 있다.

[0068] 또한, 예측부(150)는 강화학습모델을 통해 MCDI 모듈에 인가되는 전류의 크기로부터 에너지 사용량을 예측할 수 있으며, 예측된 전압을 수학식 1에 대입하여 예측하여 다음의 수학식 1과 같이 에너지 사용량을 연산할 수도 있다.

[0069] 에너지 사용량은 하기의 수학식 1과 같이 정의된다.

수학식 1

$$E\,(Wh) = \int_{t1}^{t2} V(t) \times I(t)\, dt$$

[0070]

[0071] 여기서, t1은 전류의 흐름이 시작된 시간, t2는 전류의 흐름이 멈춘 시간, V(t)는 전압의 시간에 대한 함수, I(t)는 전류의 시간에 대한 함수이다.

[0072] 제어부(140)는 학습부(130) 및 예측부(150)의 학습 데이터를 통해 펌프(110)의 회전수 및 MCDI 모듈(120)에 인가되는 전류의 크기를 제어한다(S540).

[0073] 이때, 펌프(110)의 회전수가 감소하면 MCDI 모듈(120)에서 유체의 체류시간이 길어져 처리수의 전기전도도가 낮아진다. 하지만 탄소전극 사이의 유체의 저항이 증가하므로 전체 전압이 증가한다. 반면에 전류가 높으면 처리수의 전기전도도가 낮아지고 전기적 인력의 강화로 더 빠른 이온흡착이 가능하다. 하지만 전류 상승으로 인해 MCDI 모듈(120) 전체 저항이 증가하므로 전압이 빠르게 상승한다.

[0074] 이와 같이 제어부(140)는 유입수의 전기전도도와 처리수의 전기전도도의 차이가 최대가 되도록 펌프(110)의 회전수 및 MCDI 모듈(120)에 인가되는 전류의 크기를 제어한다.

[0075] 또한, 제어부(140)는 유입수의 전기전도도와 처리수의 전기전도도의 차이가 기준값보다 큰 상태에서 MCDI 모듈(120)의 에너지 사용량이 최소가 되도록 하는 펌프(110)의 회전수 및 MCDI 모듈(120)에 인가되는 전류의 크기를

제어할 수 있다.

[0076] 제어부(140)는 이온성 물질이 제거된 처리수를 처리수 탱크로 전달한다(S550).

[0077] 제어부(140)는 제2 밸브(180)를 닫은 상태에서 제1 밸브(160)를 개방하여 이온성 물질이 제거된 처리수를 처리수 탱크(180)로 전달한다

[0078] 여기서, 유입수의 전기전도도와 처리수의 전기전도도의 차이가 클수록 MCDI 모듈(120)에 유입수에 포함된 이온성 물질이 많이 흡착되어 이온성 물질이 많이 제거된 처리수가 된다.

[0079] 한편, MCDI 모듈(120)에서 측정된 전압이 1.2V에 도달하면, MCDI 모듈(120)은 유입수의 담수 처리를 중지시키고 MCDI 모듈(120)의 세척과정을 진행한다.

[0080] 만일 MCDI 모듈(120)에서 측정된 전압이 1.2V에 도달하지 않거나, 수처리 활동을 수행할 수 있는 경우에는 S550 단계를 반복하게 된다.

[0081] 이때, MCDI 모듈(120) 세척 방법에는 전류를 역으로 인가하는 방법 또는 어떠한 전기적 작용도 가하지 않으면서 유입수를 흘려 보내는 방법을 포함한다.

[0082] 또한, 탄소전극에서 탈착된 이온성 물질을 포함하는 농축수는 농축수 탱크(190)로 전달된다.

[0083] 이와 같이, 본 발명의 실시예에 따르면 심층 강화학습 모델을 통해 정수처리에서 각 공정마다 최적의 공정 조건을 안정적으로 정확하고 빠르게 제공할 수 있고, 낮은 전위를 이용한 공정으로 에너지 효율이 좋다.

[0084] 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

[0085] 100: MCDI 수처리 제어 시스템

105: 유입수 탱크

110: 펌프 120: MCDI 모듈

121: 전위 가변기 130: 학습부

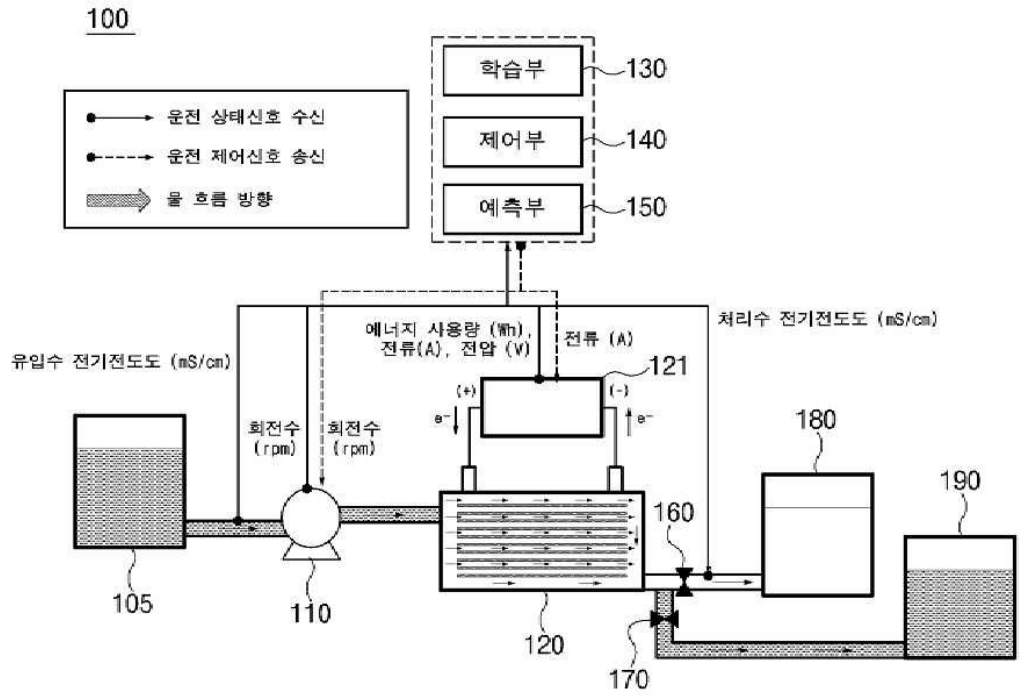
140: 제어부 150: 예측부

160: 제1밸브 170: 제2밸브

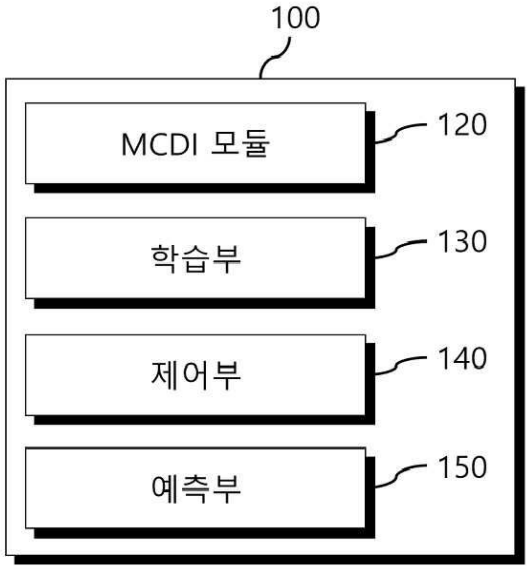
180: 처리수 탱크 190: 농축수 탱크

도면

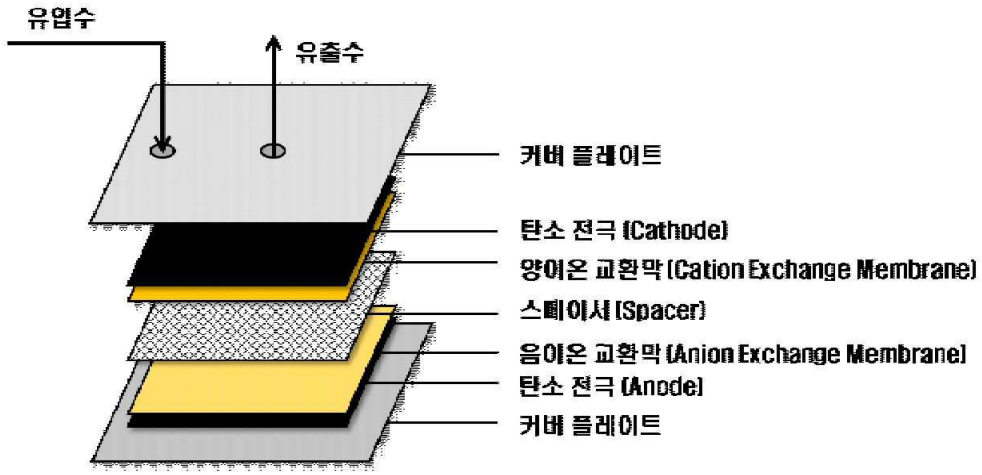
도면1


100
학습부
130
제어부
140
예측부
150
운전 상태신호 수신
운전 제어신호 송신
물 흐름 방향
에너지 사용량 (Wh),
전류(A), 전압 (V)
전류 (A)
121
처리수 전기전도도 (mS/cm)
유입수 전기전도도 (mS/cm)
회전수
(rpm)
회전수
(rpm)
(+)
(-)
e⁻
e⁻
180
190
160
105
110
120
170

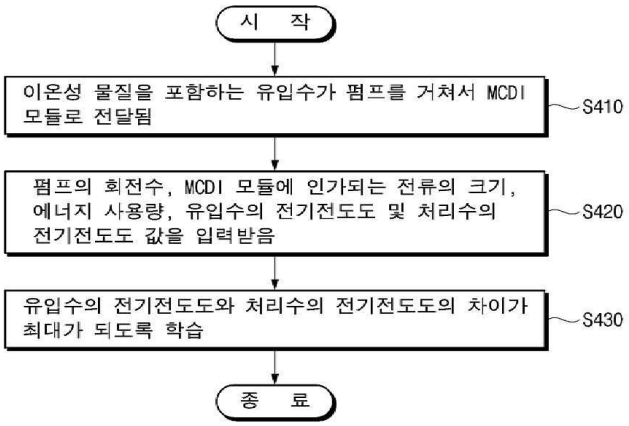
도면2


100
MCDI 모듈
120
학습부
130
제어부
140
예측부
150

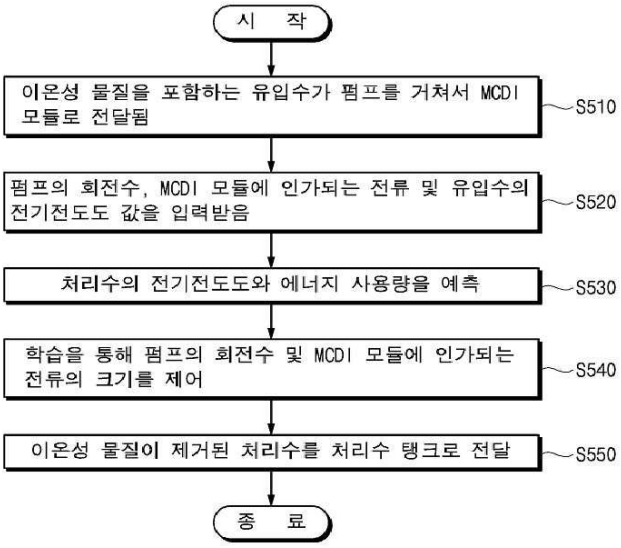
도면3


유입수
유출수
커버 플레이트
탄소 전극 (Cathode)
양이온 교환막 (Cation Exchange Membrane)
스페이서 (Spacer)
음이온 교환막 (Anion Exchange Membrane)
탄소 전극 (Anode)
커버 플레이트

도면4


시 작
이온성 물질을 포함하는 유입수가 펌프를 거쳐서 MCDI 모듈로 전달됨
S410
펌프의 회전수, MCDI 모듈에 인가되는 전류의 크기, 에너지 사용량, 유입수의 전기전도도 및 처리수의 전기전도도 값을 입력받음
S420
유입수의 전기전도도와 처리수의 전기전도도의 차이가 최대가 되도록 학습
S430
종 료

도면5


시 작
이온성 물질을 포함하는 유입수가 펌프를 거쳐서 MCDI 모듈로 전달됨
S510
펌프의 회전수, MCDI 모듈에 인가되는 전류 및 유입수의 전기전도도 값을 입력받음
S520
처리수의 전기전도도와 에너지 사용량을 예측
S530
학습을 통해 펌프의 회전수 및 MCDI 모듈에 인가되는 전류의 크기를 제어
S540
이온성 물질이 제거된 처리수를 처리수 탱크로 전달
S550
종 료