



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2022년07월21일

(11) 등록번호 10-2423843

(24) 등록일자 2022년07월18일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C02F 1/00 (2006.01) *C02F 1/469* (2006.01)
G06N 3/08 (2006.01)
- (52) CPC특허분류
C02F 1/008 (2013.01)
C02F 1/4691 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2021-0037863
- (22) 출원일자 2021년03월24일
 심사청구일자 2021년03월24일
- (56) 선행기술조사문헌
 Zifei Wang, et al., "A deep learning based dynamic COD prediction model for urban sewage", Environ. Sci.: Water Res. Technol., 2019, 5, 2210-2218
 Johan Nordstrand, et al., "An Easy-to-Use Tool for Modeling the Dynamics of Capacitive Deionization", J. Phys. Chem. A 2019, 123, 30, 6628-6634
 KR1020180119142 A
 J.E. Dykstra 외 3명, Theory of pH changes in water desalination by capacitive deionization, Water Research · April 2017, 2017.04.19

- (73) 특허권자
 울산과학기술원
 울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
- (72) 발명자
 조정화
 울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
 손문
 울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
 윤나경
 울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
- (74) 대리인
 특허법인태백

전체 청구항 수 : 총 10 항

심사관 : 이동재

(54) 발명의 명칭 딥러닝 기반 전기화학 수처리 공정 제어 시스템 및 그 방법

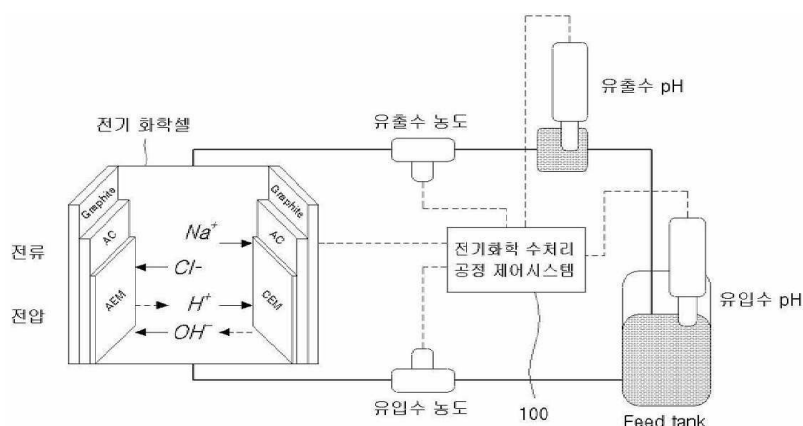
(57) 요약

본 발명은 딥러닝 기반 전기화학 수처리 공정 제어 시스템 및 그 방법에 관한 것이다.

본 발명에 따르면, 전기화학 수처리 공정 제어 시스템을 이용한 전기화학 수처리 공정 제어 방법에 있어서, 저장된 전기 화학 셀에 유입되는 유입수 농도, 유입수 pH, 상기 전기 화학 셀로부터 배출되는 유출수 농도, 유출

(뒷면에 계속)

대표도 - 도1



수 pH, 상기 전기 화학 셀에 인가되는 전류 및 전압 값을 이용하여 학습모델을 생성하는 단계, 상기 전기 화학 셀에 설치되어 있는 복수의 센서를 통해 유입수 농도, 유입수 pH 및 유출수 농도를 센싱하고, 상기 전기 화학 셀에 인가되는 전류 및 전압 값을 획득하는 단계, 상기 센싱된 유입수 농도, 유입수 pH 및 유출수 농도, 전류 및 전압 값을 상기 학습모델에 적용하여 유출수 pH를 예측하는 단계, 그리고 상기 예측된 유출수 pH에 따라 상기 유출수 pH가 적정 pH 범위에 포함되도록 상기 전기 화학 셀에 인가되는 전류 또는 전압을 제어하는 단계를 포함한다.

이와 같이 본 발명에 따르면, 딥러닝 알고리즘을 통해 유출수 pH 예측하기 때문에, 수처리 공정에서의 제거 물질별 최적의 운전 조건을 제공할 수 있으며, 수처리 공정의 효율을 증대시킬 수 있다.

(52) CPC특허분류

G06N 3/08 (2013.01)

C02F 2209/06 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711119447
과제번호	2020R1A4A1019568
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	집단연구지원(R&D)
연구과제명	해수전지기술과 태양광에너지 활용한 에너지 자립형 해수담수화 기술
기 여 율	1/1
과제수행기관명	울산과학기술원
연구기간	2020.07.01 ~ 2021.05.31

명세서

청구범위

청구항 1

전기화학 수처리 공정 제어 시스템을 이용한 전기화학 수처리 공정 제어 방법에 있어서,

기 저장된 전기 화학 셀에 유입되는 유입수 농도, 유입수 pH, 상기 전기 화학 셀로부터 배출되는 유출수 농도, 유출수 pH, 상기 전기 화학 셀에 인가되는 전류 및 전압 값을 이용하여 학습모델을 생성하는 단계,

상기 전기 화학 셀에 설치되어 있는 복수의 센서를 통해 유입수 농도, 유입수 pH 및 유출수 농도를 센싱하고, 상기 전기 화학 셀에 인가되는 전류 및 전압 값을 획득하는 단계,

상기 센싱된 유입수 농도, 유입수 pH 및 유출수 농도, 전류 및 전압 값을 상기 학습모델에 적용하여 유출수 pH를 예측하는 단계, 그리고

상기 예측된 유출수 pH에 따라 상기 유출수 pH가 적정 pH 범위에 포함되도록 상기 전기 화학 셀에 인가되는 전류 또는 전압을 제어하는 단계를 포함하는 수소이온 농도 예측 및 제어 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 학습 모델을 생성하는 단계는,

CNN-LSTM(Convolutional Neural Network-Long Short Term Memory) 알고리즘에 상기 유입수 농도, 유입수 pH, 유출수 농도, 전류 및 전압을 입력 계수로 설정하고, 그에 따른 유출수 pH를 출력 계수로 설정하여 상기 학습 모델을 학습하는 수소이온 농도 예측 및 제어 방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 전기 화학 셀에 인가되는 전류 또는 전압을 제어하는 단계는,

상기 예측된 유출수 pH가 제1 기준 pH보다 작거나 제2 기준 pH보다 큰 경우, 상기 전기 화학 셀에 인가되는 전류의 진행 방향을 변경하는 수소이온 농도 예측 및 제어 방법.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 전기 화학 셀에 인가되는 전류 또는 전압을 제어하는 단계는,

상기 예측된 유출수 pH가 제1 기준 pH 이상이고 제2 기준 pH 이하인 경우, 상기 전기 화학 셀에 인가되는 전류의 진행 방향을 유지시키는 수소이온 농도 예측 및 제어 방법.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 전기 화학 셀에 입력되는 전류 및 전압은 CC-wide, CC-narrow, CV-high 및 CV-low 모드에서 서로 다른 범위의 값으로 설정되는 수소이온 농도 예측 및 제어 방법.

청구항 6

딥러닝 기반 전기화학 수처리 공정 제어 시스템에 있어서,

기 저장된 전기 화학 셀에 유입되는 유입수 농도, 유입수 pH, 상기 전기 화학 셀로부터 배출되는 유출수 농도, 유출수 pH, 상기 전기 화학 셀에 인가되는 전류 및 전압 값을 이용하여 학습모델을 생성하는 학습부,

상기 전기 화학 셀에 설치되어 있는 복수의 센서를 통해 유입수 농도, 유입수 pH 및 유출수 농도를 센싱하고, 상기 전기 화학 셀에 인가되는 전류 및 전압 값을 획득하는 데이터 획득부,

상기 센싱된 유입수 농도, 유입수 pH 및 유출수 농도, 전류 및 전압 값을 상기 학습모델에 적용하여 유출수 pH를 예측하는 예측부, 그리고

상기 예측된 유출수 pH에 따라 상기 유출수 pH가 적정 pH 범위에 포함되도록 상기 전기 화학 셀에 인가되는 전류 또는 전압을 제어하는 제어부를 포함하는 전기화학 수처리 공정 제어 시스템.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 학습부는,

CNN-LSTM(Convolutional Neural Network-Long Short Term Memory) 알고리즘에 상기 유입수 농도, 유입수 pH, 유출수 농도, 전류 및 전압을 입력 계수로 설정하고, 그에 따른 유출수 pH를 출력 계수로 설정하여 상기 학습모델을 학습하는 전기화학 수처리 공정 제어 시스템.

청구항 8

제6항에 있어서,

상기 제어부는,

상기 예측된 유출수 pH가 제1 기준 pH보다 작거나 제2 기준 pH보다 큰 경우, 상기 전기 화학 셀에 인가되는 전류의 진행 방향을 변경하는 전기화학 수처리 공정 제어 시스템.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 제어부는,

상기 예측된 유출수 pH가 제1 기준 pH 이상이고 제2 기준 pH 이하인 경우, 상기 전기 화학 셀에 인가되는 전류의 진행 방향을 유지시키는 전기화학 수처리 공정 제어 시스템.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 전기 화학 셀에 입력되는 전류 및 전압은 CC-wide, CC-narrow, CV-high 및 CV-low 모드에서 서로 다른 범위의 값으로 설정되는 전기화학 수처리 공정 제어 시스템.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 딥러닝 기반 전기화학 수처리 공정 제어 시스템 및 그 방법에 관한 것으로, 유출수 pH를 예측하여 수처리 공정을 제어하기 위한 딥러닝 기반 전기화학 수처리 공정 제어 시스템 및 그 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 분리막촉전식탈염공정(Membrane Capacitive De-ionization; MCDI)은 두 전극 사이를 통과하는 유입수 내의 이온성 물질들을 효과적으로 제거할 수 있는 기술이다. 분리막촉전식탈염공정에 사용되는 전극은 기존 축전식탈염공정(Capacitive De-ionization; CDI)에 널리 사용되는 탄소전극의 표면에 이온교환막이 코팅된 형태로, 타겟 제거 이온이 전극 표면에 머무르는 시간을 증가시킬 수 있기 때문에 높은 이온흡착량을 가진다고 알려져 왔다. 이러한 높은 이온흡착량으로 인해, 분리막촉전식탈염공정은 이온제거율 대비 에너지 소모량이 낮아 해수/기수담수화 및 하폐수처리에 활용 가능성이 높으며 관련 연구가 활발히 진행되고 있다.

[0003] 해수는 지구상 존재하는 물의 97% 이상을 차지하고 있기 때문에 대체수자원 확보라는 측면에서는 이를 효과적으로 담수화해야 한다. 기수란 염의 농도가 대체로 ~2000 ppm인 물을 의미하는데, 바닷물과 강이 만나는 지점 혹

은 내륙지역의 지하수 등이 그 예이다. 기존의 해수/기수담수화 공정은 분리막을 이용한 역삼투(Reverse Osmosis) 방식이 주를 이루고 있으나, 에너지 소모가 높아 수자원 확보 측면에서 상수처리 공정을 완전히 대체하기에는 한계점이 있었다. 이를 극복하기 위하여, 에너지 소모량이 낮은 분리막촉전식탈염공정이 해수 및 기수담수화에 점진적으로 적용되고 있으며, 특히 내륙지방 혹은 도서산간 지역에 생활용수를 공급하기 위한 목적으로 널리 활용되고 있다. 또한, 하폐수처리장에서 방류되는 방출수의 고농도 암모니아성 질소 등의 이온성 물질들을 제거하기 위한 연구도 주목받고 있다.

[0004] 분리막촉전식탈염공정에서 유출수의 수소이온농도(pH)는 이온제거 성능에 직접적으로 영향을 끼칠 뿐만 아니라, 최종방류수의 수질과도 밀접한 연관이 있다. 예를 들어, 분리막촉전식탈염공정의 전압 운전조건은 물분해 반응의 1.2 V를 상회하는 것이 일반적이다.

[0005] 따라서, 전극에서 발생한 수소 혹은 수산화물 이온이 제거 타겟 이온인 나트륨 혹은 암모니아성 질소보다 먼저 전극에 흡착되어 궁극적으로는 처리효율을 저해하게 된다.

[0006] 즉, 분리막촉전식탈염공정의 성능을 최적화 하기 위해서는 유출수의 pH를 예측하고 이를 통해 공정 운전 조건을 최적화 할 필요성이 있다. 그러나, 물분해 반응을 포함한 두 전극사이에서 일어나는 전기화학 반응을 기존의 수치학적 모델링으로는 예측하기는 불가능에 가깝다. 그러므로, 딥러닝을 이용해 공정 운전조건에 따른 유출수 pH를 예측하고, 궁극적으로는 공정 운전조건을 최적화하는 시스템이 필요하게 되었다.

[0007] 본 발명의 배경이 되는 기술은 대한민국 공개특허 제10-2044195호(2019.12.05. 공고)에 개시되어 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 본 발명이 이루고자 하는 기술적 과제는 유출수 pH를 예측하여 수처리 공정을 제어하기 위한 딥러닝 기반 전기화학 수처리 공정 제어 시스템 및 그 방법을 제공하기 위한 것이다.

과제의 해결 수단

[0009] 이러한 기술적 과제를 이루기 위한 본 발명의 실시예에 따르면, 전기화학 수처리 공정 제어 시스템을 이용한 전기화학 수처리 공정 제어 방법에 있어서, 기 저장된 전기 화학 셀에 유입되는 유입수 농도, 유입수 pH, 상기 전기 화학 셀로부터 배출되는 유출수 농도, 유출수 pH, 상기 전기 화학 셀에 인가되는 전류 및 전압 값을 이용하여 학습모델을 생성하는 단계, 상기 전기 화학 셀에 설치되어 있는 복수의 센서를 통해 유입수 농도, 유입수 pH 및 유출수 농도를 센싱하고, 상기 전기 화학 셀에 인가되는 전류 및 전압 값을 획득하는 단계, 상기 센싱된 유입수 농도, 유입수 pH 및 유출수 농도, 전류 및 전압 값을 상기 학습모델에 적용하여 유출수 pH를 예측하는 단계, 그리고 상기 예측된 유출수 pH에 따라 상기 유출수 pH가 적정 pH 범위에 포함되도록 상기 전기 화학 셀에 인가되는 전류 또는 전압을 제어하는 단계를 포함한다.

[0010] 상기 학습 모델을 생성하는 단계는, CNN-LSTM(Convolutional Neural Network-Long Short Term Memory) 알고리즘에 상기 유입수 농도, 유입수 pH, 유출수 농도, 전류 및 전압을 입력 계수로 설정하고, 그에 따른 유출수 pH를 출력 계수로 설정하여 상기 학습 모델을 학습할 수 있다.

[0011] 상기 전기 화학 셀에 인가되는 전류 또는 전압을 제어하는 단계는, 상기 예측 유출수 pH가 제1 기준 pH보다 작거나 제2 기준 pH보다 큰 경우, 상기 전기 화학 셀에 인가되는 전류의 진행 방향을 역방향으로 변경할 수 있다.

[0012] 상기 전기 화학 셀에 인가되는 전류 또는 전압을 제어하는 단계는, 상기 예측 유출수 pH가 제1 기준 pH 이상이고 제2 기준 pH 이하인 경우, 상기 전기 화학 셀에 인가되는 전류의 진행 방향을 유지시킬 수 있다.

[0013] 상기 전기 화학 셀에 입력되는 전류 및 전압은 CC-wide, CC-narrow, CV-high 및 CV-low 모드에서 서로 다른 범위의 값으로 설정될 수 있다.

[0014] 본 발명의 다른 실시예에 따르면, 딥러닝 기반 전기화학 수처리 공정 제어 시스템에 있어서, 기 저장된 전기 화학 셀에 유입되는 유입수 농도, 유입수 pH, 상기 전기 화학 셀로부터 배출되는 유출수 농도, 유출수 pH, 상기 전기 화학 셀에 인가되는 전류 및 전압 값을 이용하여 학습모델을 생성하는 학습부, 상기 전기 화학 셀에 설치되어 있는 복수의 센서를 통해 유입수 농도, 유입수 pH 및 유출수 농도를 센싱하고, 상기 전기 화학 셀에 인가되는 전류 및 전압 값을 획득하는 데이터 획득부, 상기 센싱된 유입수 농도, 유입수 pH 및 유출수 농도, 전류 및 전압 값을 상기 학습모델에 적용하여 유출수 pH를 예측하는 예측부, 그리고 상기 예측된 유출수 pH에 따라

상기 유출수 pH가 적정 pH 범위에 포함되도록 상기 전기 화학 셀에 인가되는 전류 또는 전압을 제어하는 제어부를 포함한다.

발명의 효과

[0015] 이와 같이 본 발명에 따르면, 딥러닝 알고리즘을 통해 유출수 pH를 예측함으로써, 수처리 공정에서의 제거 물질 별 최적의 운전 조건을 제공할 수 있으며, 수처리 공정의 효율을 증대시킬 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0016] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 전기화학 수처리 공정 제어 시스템을 설명하기 위한 도면이다.
 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 전기화학 수처리 공정 제어 시스템의 구성을 나타낸 도면이다.
 도 3은 본 발명의 실시예에 따른 전기화학 수처리 공정 제어 방법을 설명하기 위한 순서도이다.
 도 4는 도 3의 S310 단계를 설명하기 위한 도면이다.
 도 5는 본 발명의 실시예에 따른 LSTM을 이용하여 유출수의 pH 값의 예측 효율을 나타낸 도면이다.
 도 6은 본 발명의 실시예에 따른 CNN-LSTM을 이용하여 유출수의 pH 값의 예측 효율을 나타낸 도면이다.
 도 7은 본 발명의 실시예에 따른 LSTM을 이용하여 학습 및 테스트 결과를 설명하기 위한 도면이다.
 도 8은 본 발명의 실시예에 따른 CNN-LSTM을 이용하여 학습 및 테스트 결과를 설명하기 위한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0017] 아래에서는 첨부한 도면을 참조하여 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 본 발명의 실시 예를 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.

[0018] 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 있는 것을 의미한다.

[0019] 그러면 첨부한 도면을 참고로 하여 본 발명의 실시 예에 대하여 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 상세히 설명한다.

[0020] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 전기화학 수처리 공정 제어 시스템을 설명하기 위한 도면이고, 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 전기화학 수처리 공정 제어 시스템의 구성을 나타낸 도면이다.

[0021] 도 1에서 나타난 것처럼, 본 발명의 실시예에 따른 전기화학 수처리 공정 제어 시스템(100)은 전기 화학 셀에 입력되는 유입수 농도 및 유입수 pH, 전기 화학 셀을 동작시키기 위한 전류 및 전압, 전기 화학 셀을 통해 배출된 유출수 농도 및 유출수 pH를 수집하고, 수집된 데이터를 이용하여 유출수 pH를 예측하여 궁극적으로는 상기 전기 화학 셀의 전류 및 전압 조건을 제어한다.

[0022] 이때, 전기 화학 셀은 전원으로부터 전기 에너지를 공급하여 산화전극(anode)에서는 산화반응을 발생시키고, 환원전극(cathode)에서는 환원 반응을 발생시켜 이온을 분리 또는 흡착시키기 위한 화학 셀로, 본 발명의 실시예에서는 유입수의 수소 이온 농도를 제어하기 위해 사용된다.

[0023] 즉, 도 1에서 나타난 것과 같이, 전기화학 수처리 공정 제어 시스템(100)은 유입수 탱크(feed tank)로부터 전기 화학 셀로 유입되는 유입수 농도와 pH 값을 측정하고, 전기 화학 셀을 통해 유출되는 유출수 농도와 pH 값을 측정한다.

[0024] 예를 들어, 전기 화학 셀에 입력되는 유입수가 NaCl이면, 음이온인 Cl^- 및 OH^- 는 음이온 교환막(anion exchangemembrane, AEM)이 포함된 전극으로 이동하고, 양이온인 Na^+ 및 H^+ 는 양이온 교환막(cation exchangemembrane, CEM)이 포함된 전극으로 이동한다.

[0025] 도 2에서 나타난 것처럼, 전기화학 수처리 공정 제어 시스템(100)은 학습부(110), 데이터 획득부(120), 예측부(130) 및 제어부(140)를 포함한다.

- [0026] 먼저, 학습부(110)는 기 저장된 전기 화학 셀에 유입되는 유입수 농도, 유입수 pH, 전기 화학 셀에 인가되는 전류 및 전압 값 및 전기 화학 셀로부터 배출되는 유출수 농도에 따른 유출수 pH를 인공지능 알고리즘에 적용하여 학습모델을 생성한다.
- [0027] 이때, 인공지능 알고리즘은 합성곱 신경망(Convolutional Neural Network, CNN)과 장단기기억법(Long Short-Term Memory, LSTM)이 연계된 CNN-LSTM 알고리즘을 이용한다.
- [0028] 여기서, 합성곱 신경망(CNN)은 시각적 영상을 분석하는 데 사용되는 다층의 피드-포워드적인 인공신경망의 한 종류로 영상 및 동영상 인식, 추천 시스템, 영상 분류, 의료 영상 분석 및 자연어 처리에 이용되며, 본 발명의 실시예에서는 전기 화학 셀에 유입되는 유입수 농도, 유입수 pH, 전기 화학 셀에 인가되는 전류 및 전압 값 및 전기 화학 셀로부터 배출되는 유출수 농도에 따른 유출수 pH를 학습하기 위해 사용된다.
- [0029] 또한, 장단기기억법(LSTM)은 순환신경망의 한 종류로 복수개의 데이터들의 연관성을 판단하여 학습하는 방법으로, 본 발명의 실시예에서는 합성곱 신경망과 함께 전기 화학 셀에 유입되는 유입수 농도, 유입수 pH, 전기 화학 셀에 인가되는 전류 및 전압 값 및 전기 화학 셀로부터 배출되는 유출수 농도에 따른 유출수 pH를 학습하기 위해 사용된다.
- [0030] 특히, 합성곱 신경망은 데이터의 국지적 변화에 민감하도록 설계되며, 장단기기억법은 데이터의 시계열적 특성에 민감하게 반응하게끔 설계된다.
- [0031] 다음으로, 데이터 획득부(120)는 전기 화학 셀에 설치되어 있는 복수의 센서를 통해 유입수 농도, 유입수 pH 및 유출수 농도를 센싱하고, 전기 화학 셀에 인가되는 전류 및 전압 값을 획득한다.
- [0032] 이때, 전기 화학 셀에 인가되는 전류 및 전압 값은 전기 화학 셀에 유입되는 유입수의 종류 또는 유입수에 존재하는 이온의 양에 따라 변경될 수 있다.
- [0033] 다음으로, 예측부(130)는 센싱된 유입수 농도, 유입수 pH 및 유출수 농도, 전류 및 전압 값을 학습모델에 적용하여 유출수 pH를 예측한다.
- [0034] 다음으로, 제어부(140)는 예측된 유출수 pH에 따라 유출수 pH가 적정 pH 범위에 포함되도록 전기 화학 셀에 인가되는 전류 또는 전압을 제어한다.
- [0035] 이때, 예측 유출수 pH가 pH 3보다 작거나 pH 10보다 큰 경우, 제어부(140)는 전기 화학 셀에 인가되는 전류의 진행 방향을 역방향으로 변경하며, 예측 유출수 pH가 pH 3 이상이고 pH 10 이하인 경우, 제어부(140)는 전기 화학 셀에 인가되는 전류의 진행 방향을 유지시키도록 전기 화학 셀에 인가되는 전류 또는 전압을 제어한다.
- [0036] 여기서, pH 3 및 pH 10는 각각 전류의 진행 방향 유지를 결정하기 위한 기준 pH로서, 전기화학셀에 인가되는 전압 및 전류의 크기 또는 전기 화학셀의 용도에 따라 다양한 실시예로 변경될 수 있다.
- [0037] 이때, 유입수가 NaCl인 경우, 제어부(140)는 전기 화학 셀에 입력되는 전류를 $-20A/m^2$ 내지 $20A/m^2$ 사이의 값으로 설정하며, 전기 화학 셀에 입력되는 최대 및 최소 전압을 +2.0 V 및 -2.0V로 설정한다.
- [0038] 즉, 제어부(140)는 전기 화학 셀에 유입되는 유입수의 종류에 따라 전기 화학 셀에 인가되는 전류 또는 전압의 크기는 달라질 수 있다.
- [0039] 이하에서는 도 3 내지 도 8을 이용하여 본 발명의 실시예에 따른 전기화학 수처리 공정 제어 방법을 설명한다.
- [0040] 도 3은 본 발명의 실시예에 따른 전기화학 수처리 공정 제어 방법을 설명하기 위한 순서도이다.
- [0041] 먼저, 학습부(110)는 기 저장되어 있는 데이터를 이용하여 학습모델을 생성한다(S310).
- [0042] 여기서, 기 저장되어 있는 데이터는 전기 화학 셀에 유입되는 유입수 농도, 유입수 pH, 전기 화학 셀로부터 배출되는 유출수 농도, 유출수 pH, 전기 화학 셀에 인가되는 전류 및 전압 값을 포함한다.
- [0043] 도 4는 도 3의 S310 단계를 설명하기 위한 도면이다.
- [0044] 도 4에서 나타난 것처럼, CNN 알고리즘은 그래프의 변곡점을 분석하며, LSTM 알고리즘은 전체 그래프에 대하여 학습한다.
- [0045] 이때, CNN 알고리즘은 전기 화학 셀에 유입되는 유입수 농도, 유입수 pH, 전기 화학 셀로부터 배출되는 유출수 농도, 전기 화학 셀에 인가되는 전류 및 전압 값을 5개의 입력 데이터(Input data)로 설정한다.

- [0046] 다음으로, 데이터 획득부(120)는 전기 화학 셀에 설치되어 있는 복수의 센서를 통해 유입수 농도, 유입수 pH 및 유출수 농도를 센싱하고, 전기 화학 셀에 인가되는 전류 및 전압 값을 획득한다(S320).
- [0047] 여기서, 유입수 pH는 피드 탱크에 설치된 수소이온 측정 센서를 통해 센싱되며, 유입수 농도 및 유출수 농도는 유입수 및 유출수가 이동하는 라인에 설치된 농도 센서를 이용하여 측정된다.
- [0048] 또한, 전기 화학 셀에 인가되는 전류 및 전압 값은 전기 화학 셀에 부착된 전압계 및 전류계를 통해 측정되거나 전기화학 수처리 공정 제어 시스템(100)으로부터 획득할 수 있다.
- [0049] 다음으로, 예측부(130)는 데이터 획득부(120)로부터 획득한 데이터를 이용하여 유출수 pH를 예측한다(S330).
- [0050] 즉, 예측부(130)는 획득된 데이터를 기 학습된 학습모델에 입력하여 유출수 pH를 예측한다.
- [0051] 또한, 예측부(130)는 현재 시점의 데이터를 이용하여 다음 시점에서의 유출수 pH를 예측한다.
- [0052] 이때, 현재 시점과 다음 시점과의 차이는 전기화학 수처리 공정 제어 시스템(100)의 규모 또는 설정값에 따라 변경될 수 있다.
- [0053] 다음으로, 제어부(140)는 예측 유출수 pH가 제1 기준 pH보다 크고, 제2 기준pH보다 작은지 판단한다(S340).
- [0054] 이때, 예측 유출수 pH가 제1 기준 pH보다 크고, 제2 기준pH보다 작은 경우, 제어부(140)는 전기 화학 셀에 인가되는 전류의 진행 방향을 유지시킨다(S350).
- [0055] 예를 들어, 예측 유출수 pH가 제2 기준 pH이하인 경우, 제어부(140)는 전기 화학 셀 내부에서 좌측으로부터 우측으로 이동중인 전류의 방향 유지시킨다.
- [0056] 반면에, 예측 유출수 pH가 제1 기준 pH이하 이거나, 제2 기준pH이상인 경우, 제어부(140)는 전기 화학 셀에 인가되는 전류의 진행 방향을 역방향으로 변경한다(S360).
- [0057] 예를 들어, 예측 유출수 pH가 제2 기준 pH보다 큰 경우, 제어부(140)는 전기 화학 셀 내부에서 좌측으로부터 우측으로 이동중인 전류의 방향을 우측으로부터 좌측으로 이동하도록 전류의 방향을 변경한다.
- [0058] 이때, 제1 기준 pH와 제2 기준 pH는 유입수에 존재하는 이온의 종류 및 전기화학 수처리 공정 제어 시스템(100)의 설치 위치에 따라 변경될 수 있다.
- [0059] 도 5는 본 발명의 실시예에 따른 LSTM을 이용하여 유출수의 pH 값의 예측 효율을 나타낸 도면이고, 도 6은 본 발명의 실시예에 따른 CNN-LSTM을 이용하여 유출수의 pH 값의 예측 효율을 나타낸 도면이며, 도 7은 본 발명의 실시예에 따른 LSTM을 이용하여 학습 및 테스트 결과를 설명하기 위한 도면이고, 도 8은 본 발명의 실시예에 따른 CNN-LSTM을 이용하여 학습 및 테스트 결과를 설명하기 위한 도면이다.
- [0060] 본 발명의 실시예에서는 전기 화학 셀에 인가되는 전류 및 전압을 CC-wide, CC-narrow, CV-high 및 CV-low의 4가지 모드로 테스트 하였다.
- [0061] 이때, CC-wide(Costant Current wide) 모드는 전류 값을 단계적으로 20 A/m^2 에서 40 A/m^2 까지 5 A/m^2 씩 증가시키고, -20 A/m^2 에서 -40 A/m^2 까지 -5 A/m^2 씩 감소시키는 모드를 의미하며, 최대 및 최소 전압은 2V 와 -2V로 설정된다.
- [0062] 또한, CC-narrow(Costant Current narrow) 모드는 전류 값을 단계적으로 20 A/m^2 에서 40 A/m^2 까지 5 A/m^2 씩 증가시키고, -20 A/m^2 에서 -40 A/m^2 까지 -5 A/m^2 씩 감소시키는 모드를 나타내며, 최대 및 최소 전압은 2V 와 0V로 설정된다.
- [0063] CV-high(Costant Voltage high) 모드는 전류 값은 특정하지 않은 상태에서 전압 값을 단계적으로 +1.2V, 에서 +2.0V까지 0.2V씩 증가시키고, -1.2V에서 -2.0V까지 0.2V씩 감소시키는 모드를 의미한다.
- [0064] 또한, CV-low(Costant Voltage low) 모드는 전류 값은 특정하지 않은 상태에서 전압 값을 단계적으로 +0.8V, 에서 +1.4V까지 0.2V씩 증가시키고, -0.8V에서 -1.4V까지 0.2V씩 감소시키는 모드를 나타낸다.
- [0065] 도 5 및 도 6에서 나타낸 것처럼, A, B, C는 CC-wide, D, E, F는 CC-narrow 모드, G, H, I는 CV-high 모드, J, K, L는 CV-low 모드일 경우에 LSTM 또는 CNN-LSTM을 이용하여 유출수의 pH 값의 예측 효율을 나타내었다.
- [0066] 이때, 도 5 및 도 6의 C, F, I 및 L의 그래프에서 나타낸 것처럼, 파란색 그래프는 측정된 유출수 pH 값을 의미

하고, 붉은색 그래프는 예측된 유출수 pH 값을 나타낸다

[0067] 즉, 도 5에서 나타낸 것처럼, LSTM을 이용하여 예측된 유출수 pH 값과 측정된 유출수 pH 값은 차이가 있으나 도 6에서 나타낸 것처럼, CNN-LSTM을 이용하여 예측된 유출수 pH 값과 측정된 유출수 pH 값은 차이가 존재하지 않은 것으로 판단된다.

[0068] 도 7에서 나타낸 것처럼, LSTM만을 이용하여 각각의 상태에서의 예측 유출수 pH의 정확도는 결정계수(R^2) 기준으로 0.863(CC-wide 모드), 0.729(CC-narrow 모드), 0.701(CV-high 모드) 및 0.807(CV-low 모드)으로 측정되었다.

[0069] 반면에 도 8에서 나타낸 것처럼, CNN-LSTM을 이용하여 각각의 각각의 상태에서의 예측 유출수 pH의 정확도는 0.999(CC-wide 모드), 0.999(CC-narrow 모드), 0.997(CV-high 모드) 및 0.997(CV-low 모드)으로 측정되었다.

[0070] 즉, 도 7 내지 도 8에서 나타낸 것처럼, LSTM만을 이용하여 유출수 pH 값을 예측하는 것보다 CNN-LSTM을 이용하여 유출수 pH 값을 예측하는 것이 더 정확한 것을 알 수 있다.

[0071] 이와 같이 본 발명의 실시예에 따르면, 딥러닝 알고리즘을 통해 유출수 pH를 예측함으로써, 수처리 공정에서의 제거 물질별 최적의 운전 조건을 제공할 수 있으며, 수처리 공정의 효율을 증대시킬 수 있다.

[0072] 본 발명은 도면에 도시된 실시 예를 참고로 설명되었으나 이는 예시적인 것이 불과하며, 본 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 다른 실시 예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서, 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 특허청구범위의 기술적 사상에 의하여 정해져야 할 것이다.

부호의 설명

[0073] 100: 전기화학 수처리 공정 제어 시스템,

110: 학습부,

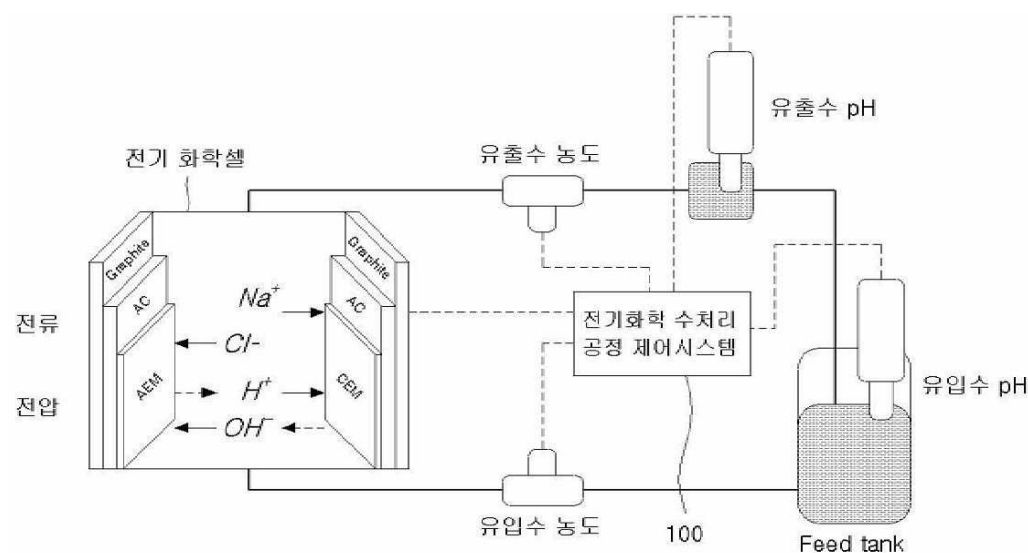
120: 데이터 획득부,

130: 예측부,

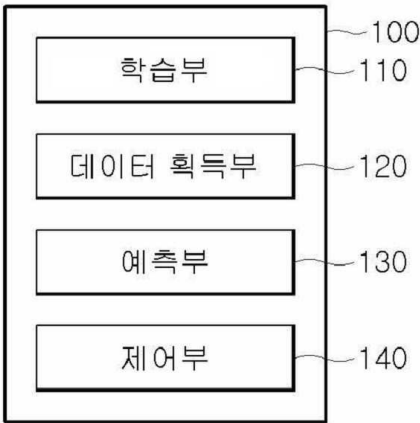
140: 제어부

도면

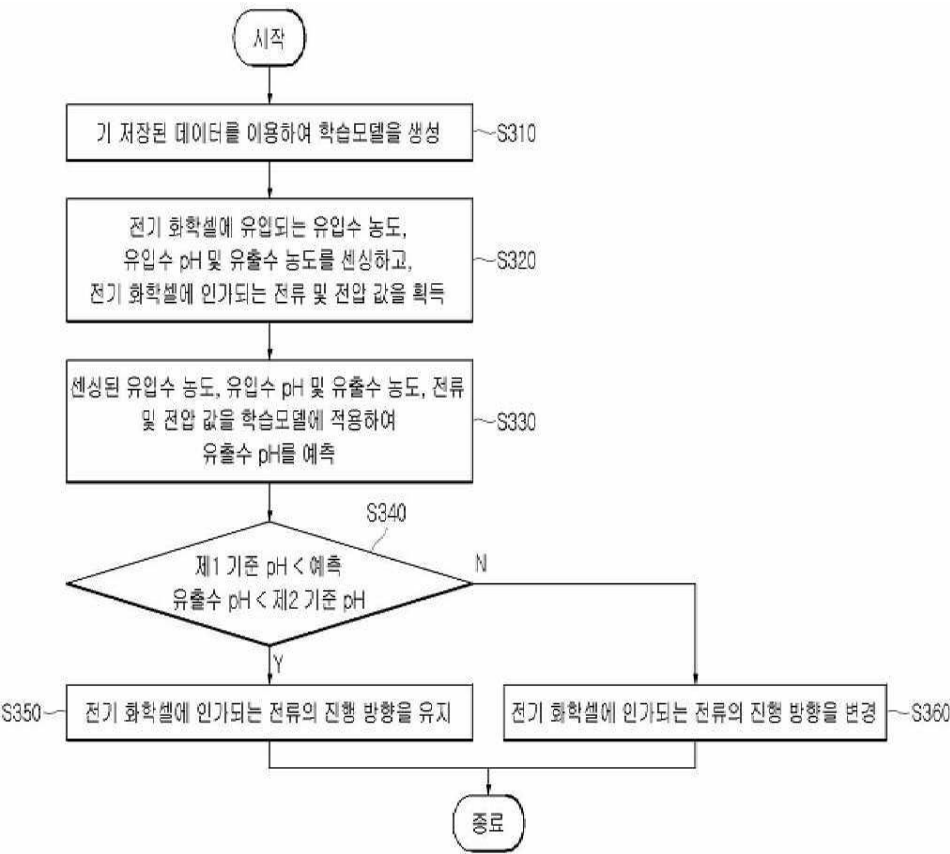
도면1



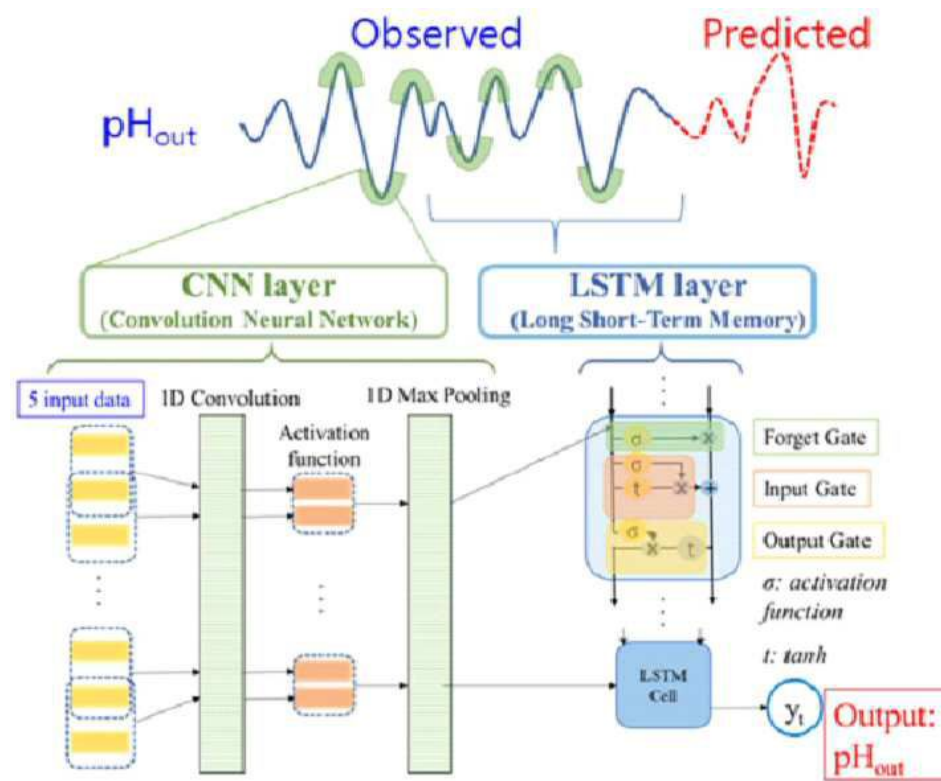
도면2



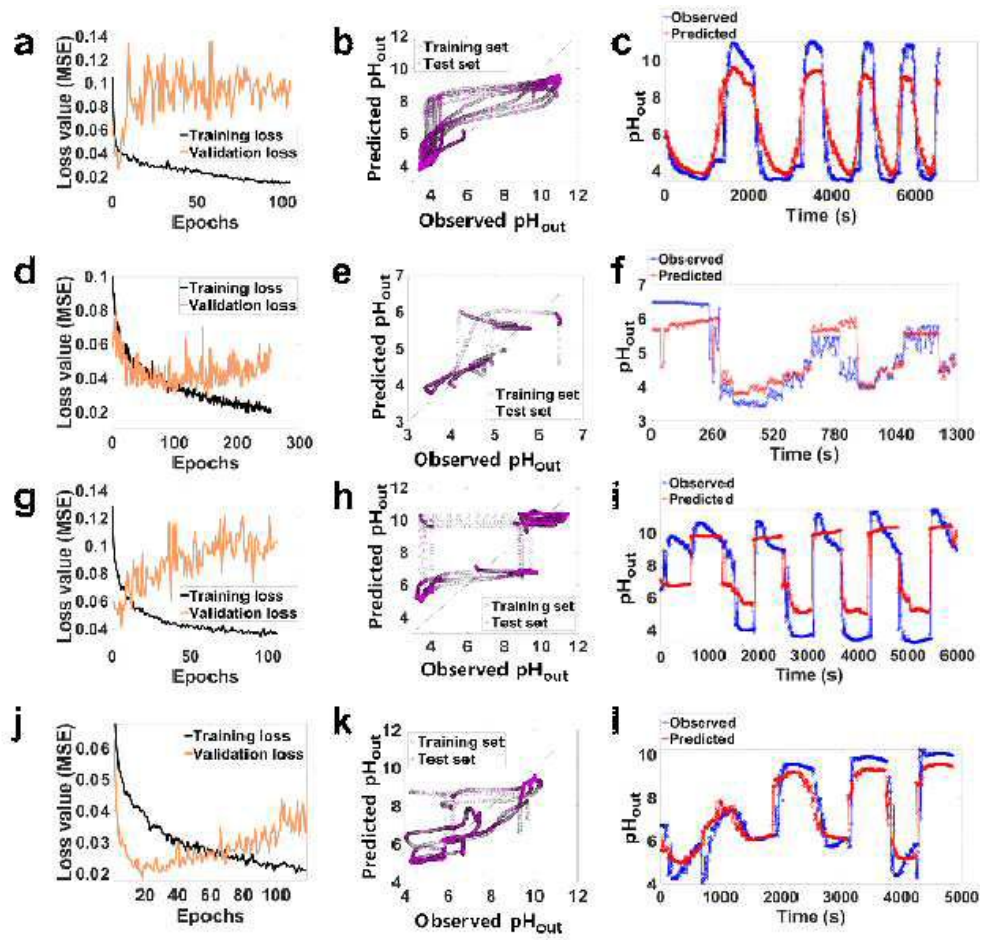
도면3



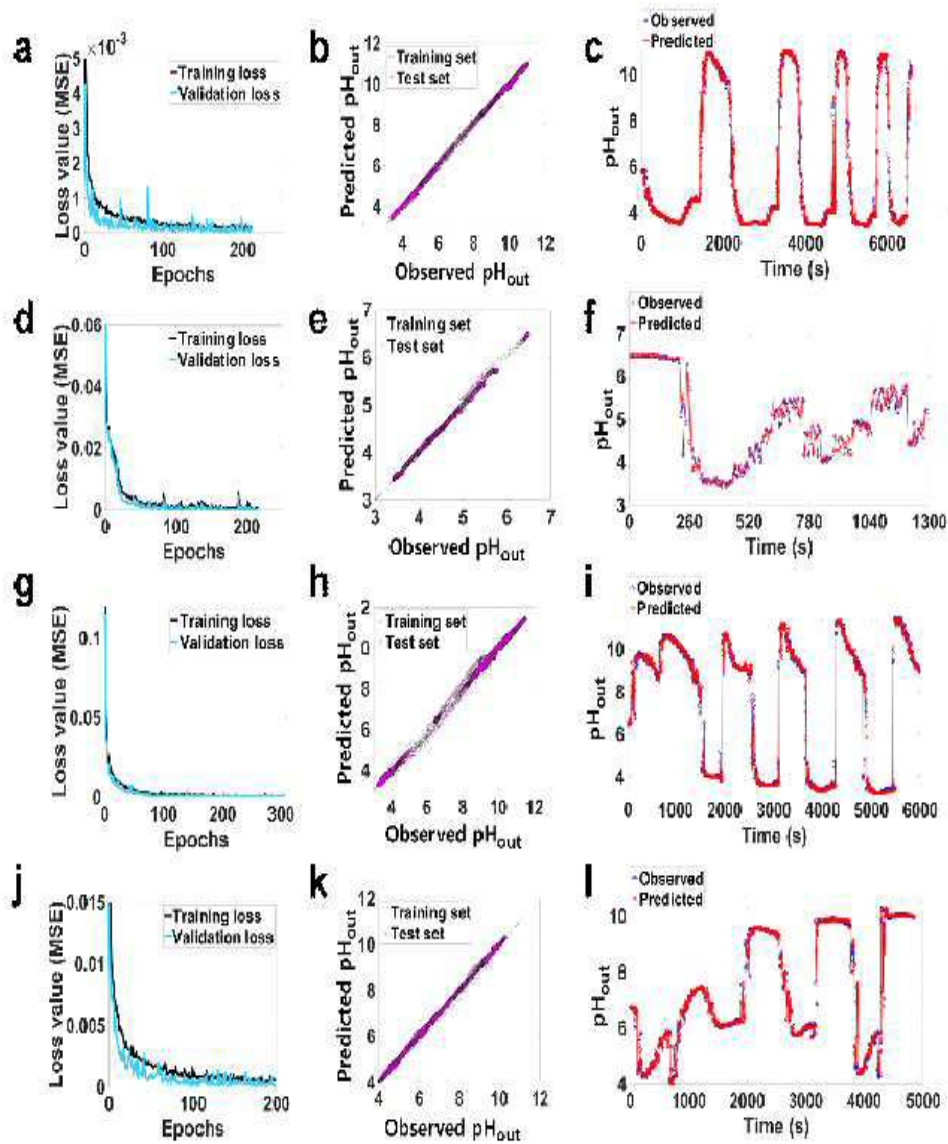
도면4



도면5



도면6



도면7

MCDI operation	R^2 (Training)	R^2 (Test)	NRMSE (Training)	NRMSE (Test)	MAE (Test)
CC-wide	0.863	0.843	0.166	0.171	1.043
CC-narrow	0.729	0.680	0.166	0.188	0.422
CV-high	0.701	0.692	0.213	0.211	1.390
CV-low	0.807	0.826	0.143	0.137	0.617

도면8

MCDI operation	R^2 (Training)	R^2 (Test)	NRMSE (Training)	NRMSE (Test)	MAE (Test)
CC-wide	0.999	0.999	0.007	0.007	0.039
CC-narrow	0.999	0.999	0.010	0.010	0.020
CV-high	0.997	0.997	0.023	0.023	0.131
CV-low	0.997	0.997	0.019	0.018	0.077

【심사관 직권보정사항】

【직권보정 1】

【보정항목】 청구범위

【보정세부항목】 청구항 3

【변경전】

제1항에 있어서,

상기 전기 화학 셀에 인가되는 전류 또는 전압을 제어하는 단계는,

상기 예측 유출수 pH가 제1 기준 pH보다 작거나 제2 기준 pH보다 큰 경우, 상기 전기 화학 셀에 인가되는 전류의 진행 방향을 변경하는 수소이온 농도 예측 및 제어 방법.

【변경후】

제1항에 있어서,

상기 전기 화학 셀에 인가되는 전류 또는 전압을 제어하는 단계는,

상기 예측된 유출수 pH가 제1 기준 pH보다 작거나 제2 기준 pH보다 큰 경우, 상기 전기 화학 셀에 인가되는 전류의 진행 방향을 변경하는 수소이온 농도 예측 및 제어 방법.

【직권보정 2】

【보정항목】 청구범위

【보정세부항목】 청구항 4

【변경전】

제3항에 있어서,

상기 전기 화학 셀에 인가되는 전류 또는 전압을 제어하는 단계는,

상기 예측 유출수 pH가 제1 기준 pH 이상이고 제2 기준 pH 이하인 경우, 상기 전기 화학 셀에 인가되는 전류의 진행 방향을 유지시키는 수소이온 농도 예측 및 제어 방법.

【변경후】

제3항에 있어서,

상기 전기 화학 셀에 인가되는 전류 또는 전압을 제어하는 단계는,

상기 예측된 유출수 pH가 제1 기준 pH 이상이고 제2 기준 pH 이하인 경우, 상기 전기 화학 셀에 인가되는 전류의 진행 방향을 유지시키는 수소이온 농도 예측 및 제어 방법.

【직권보정 3】

【보정항목】 청구범위

【보정세부항목】 청구항 8

【변경전】

제6항에 있어서,

상기 제어부는,

상기 예측 유출수 pH가 제1 기준 pH보다 작거나 제2 기준 pH보다 큰 경우, 상기 전기 화학 셀에 인가되는 전류의 진행 방향을 변경하는 전기화학 수처리 공정 제어 시스템.

【변경후】

제6항에 있어서,

상기 제어부는,

상기 예측된 유출수 pH가 제1 기준 pH보다 작거나 제2 기준 pH보다 큰 경우, 상기 전기 화학 셀에 인가되는 전류의 진행 방향을 변경하는 전기화학 수처리 공정 제어 시스템.

【직권보정 4】

【보정항목】 청구범위

【보정세부항목】 청구항 9

【변경전】

제8항에 있어서,

상기 제어부는,

상기 예측 유출수 pH가 제1 기준 pH 이상이고 제2 기준 pH 이하인 경우, 상기 전기 화학 셀에 인가되는 전류의 진행 방향을 유지시키는 전기화학 수처리 공정 제어 시스템.

【변경후】

제8항에 있어서,

상기 제어부는,

상기 예측된 유출수 pH가 제1 기준 pH 이상이고 제2 기준 pH 이하인 경우, 상기 전기 화학 셀에 인가되는 전류의 진행 방향을 유지시키는 전기화학 수처리 공정 제어 시스템.