(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0151045
(43) 공개일자 2024년10월17일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C02F 3/12 (2006.01) *B01D 65/02* (2006.01)
C02F 3/20 (2006.01)
(52) CPC특허분류
C02F 3/1273 (2013.01)
B01D 65/02 (2022.08)
(21) 출원번호 10-2023-0047046
(22) 출원일자 2023년04월10일
심사청구일자 2024년06월04일

(71) 출원인
(주)엘에스티에스
인천광역시 서구 보듬3로 14 (오류동)
고려대학교 산학협력단
서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)
(72) 발명자
박상광
인천광역시 남구 매소홀로475번길 18 ,17동1205호(학익동,신동아아파트)
황문현
서울특별시 강동구 아리수로50길 50 래미안힐스테이트고덕 123동 1201호
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
특허법인포레스트

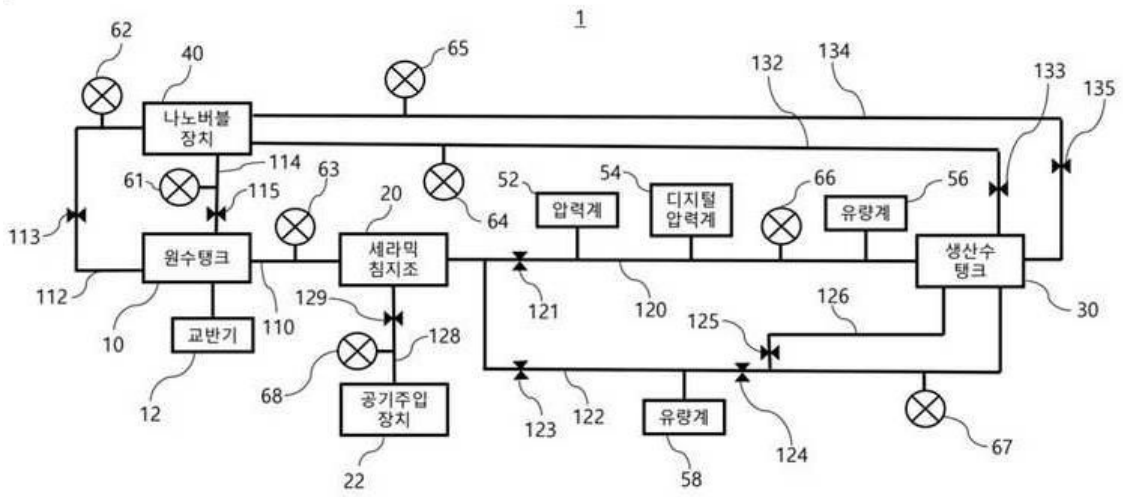
전체 청구항 수 : 총 16 항

(54) 발명의 명칭 **세라믹막을 포함하는 복합 나노버블 시스템 및 이를 이용한 산업폐수 처리방법**

(57) 요 약

본 발명의 일 측면에 따르면 경제적이면서도 효과적으로 산업폐수를 정화할 수 있는 수처리 시스템 및 이를 이용한 산업폐수 처리방법이 제공될 수 있다.

대 표 도



(52) CPC특허분류
C02F 3/1284 (2013.01)
C02F 3/20 (2013.01)
Y02W 10/10 (2020.08)

(72) 발명자
맹지성
서울특별시 마포구 상암산로1길 92
상암월드컵파크7단지 711동 901호
김지연
경기도 하남시 미사강변동로84번길 20 1048호
강재욱
서울특별시 은평구 백련산로 37 힐스테이트백련산 4차아파트 413동 902호
윤성열
서울특별시 강서구 양천로6길 57 이편한세상아파트 103동 1307호

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1615013156
과제번호	00144137
부처명	국토교통부
과제관리(전문)기관명	국토교통과학기술진흥원
연구사업명	비전통오일생산플랜트건설핵심기술개발사업(R&D)
연구과제명	생산수 계통의 오일제거 및 수처리 복합공정 설비기술 개발
기 여 율	1/1
과제수행기관명	(주)엘에스티에스, 고려대학교 산학협력단
연구기간	2022.04.01 ~ 2028.12.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

원수를 저장 가능한 원수탱크;

상기 원수를 여과한 생산수를 저장 가능한 생산수탱크;

상기 원수탱크와 상기 생산수탱크 사이에 배치되며, 오염물질을 여과 가능한 세라믹막이 침지되어 구비되는 세라믹 침지조;

상기 원수탱크에 저장된 원수 및 상기 생산수탱크에 저장된 생산수에 나노버블을 공급 가능한 나노버블장치; 및

상기 생산수탱크로부터 상기 세라믹 침지조에 상기 생산수를 선택적으로 공급 가능한 역세라인을 포함하는, 복합 나노버블 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 원수탱크로부터 상기 나노버블장치를 향해 연장되며, 상기 원수탱크에 수용된 상기 원수가 상기 나노버블장치로 이동하는 경로를 제공하는 원수유입라인;

상기 나노버블장치로부터 상기 원수탱크를 향해 연장되며, 상기 나노버블장치에 유입되어 나노버블이 주입된 상기 원수가 상기 원수탱크로 이동하는 경로를 제공하는 원수유출라인;

상기 원수유입라인 상에 구비되어 상기 원수유입라인을 따라 이동하는 상기 원수의 유량을 조절 가능한 원수유입라인밸브; 및

상기 원수유출라인 상에 구비되어 상기 원수유출라인을 따라 이동하는 상기 나노버블이 주입된 원수의 유량을 조절 가능한 원수유출라인밸브를 더 포함하는, 복합 나노버블 시스템.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 원수유입라인 상에 구비되어 상기 원수유입라인을 따라 이동하는 상기 원수의 이동 구동력을 제공하는 원수유입펌프; 및

상기 원수유출라인 상에 구비되어 상기 원수유출라인을 따라 이동하는 상기 나노버블이 주입된 원수의 이동 구동력을 제공하는 원수유출펌프를 더 포함하는, 복합 나노버블 시스템.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 원수탱크에 연결되어 상기 원수탱크에 수용된 상기 원수를 교반 가능한 교반기를 더 포함하는, 복합 나노버블 시스템.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 원수탱크로부터 상기 세라믹 침지조를 향해 연장되며, 상기 원수탱크에 수용된 상기 원수가 상기 세라믹 침지조로 이동하는 경로를 제공하는 원수공급라인; 및

상기 원수공급라인 상에 구비되어 상기 원수공급라인을 따라 이동하는 상기 원수의 이동 구동력을 제공하는 원수공급펌프를 더 포함하는, 복합 나노버블 시스템.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 세라믹 침지조에 침지된 세라믹막을 향해 공기를 주입 가능한 공기주입장치를 더 포함하는, 복합 나노버블 시스템.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 세라믹 침지조로부터 상기 생산수탱크를 향해 연장되며, 상기 세라믹 침지조에서 여과된 생산수가 상기 생산수탱크로 이동하는 경로를 제공하는 생산수공급라인;

상기 생산수공급라인 상에 구비되어 상기 생산수공급라인을 따라 이동하는 상기 생산수의 이동 구동력을 제공하는 생산수공급펌프; 및

상기 생산수공급라인 상에 구비되어 상기 세라믹막에 인가되는 음압을 측정 가능한 압력계를 더 포함하는, 복합 나노버블 시스템.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 생산수탱크로부터 상기 세라믹 침지조를 향해 연장되며, 상기 생산수탱크에 수용된 상기 생산수가 상기 세라믹 침지조를 향해 이동하는 경로를 제공하는 역세라인;

상기 역세라인 상에 구비되어 상기 역세라인을 따라 이동하는 상기 생산수의 이동 구동력을 제공하는 역세펌프;

상기 역세라인으로부터 분기되어 상기 생산수탱크를 향해 연장되며, 상기 역세라인을 따라 이동하던 상기 생산수가 상기 생산수탱크로 이동하는 경로를 제공하는 유량조절라인; 및

상기 역세라인 및 상기 유량조절라인에 각각 구비되어 상기 역세라인 및 상기 유량조절라인을 따라 이동하는 상기 생산수의 유량을 조절 가능한 제1 및 제2 유량조절밸브를 더 포함하는, 복합 나노버블 시스템.

청구항 9

제1항에 있어서,

상기 생산수탱크로부터 상기 나노버블장치를 향해 연장되며, 상기 생산수탱크에 수용된 상기 생산수가 상기 나노버블장치로 이동하는 경로를 제공하는 생산수유입라인;

상기 나노버블장치로부터 상기 생산수탱크를 향해 연장되며, 상기 나노버블장치에 유입되어 나노버블이 주입된 상기 생산수가 상기 생산수탱크로 이동하는 경로를 제공하는 생산수유출라인;

상기 생산수유입라인 상에 구비되어 상기 생산수유입라인을 따라 이동하는 상기 생산수의 유량을 조절 가능한 생산수유입라인밸브; 및

상기 생산수유출라인 상에 구비되어 상기 생산수유출라인을 따라 이동하는 상기 나노버블이 주입된 상기 생산수의 유량을 조절 가능한 생산수유출라인밸브를 더 포함하는, 복합 나노버블 시스템.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 생산수유입라인 상에 구비되어 상기 생산수유입라인을 따라 이동하는 상기 생산수의 이동 구동력을 제공하는 생산수유입펌프; 및

상기 생산수유출라인 상에 구비되어 상기 생산수유출라인을 따라 이동하는 상기 나노버블이 주입된 원수의 이동 구동력을 제공하는 생산수유출펌프를 더 포함하는, 복합 나노버블 시스템.

청구항 11

제1항 내지 제10항 중 어느 한 항의 복합 나노버블 시스템을 이용한 산업폐수 처리 방법으로,

기설정된 가동시간 동안 상기 세라믹 침지조를 가동하여 상기 원수로부터 상기 생산수를 생산하는 가동단계; 및

상기 가동시간 만료 후 기설정된 역세시간 동안 상기 세라믹 침지조의 가동을 중단하고 상기 생산수탱크로부터 상기 세라믹 침지조에 상기 생산수를 공급하여 상기 세라믹막을 세척하는 세척단계를 포함하되,

상기 가동단계 및 상기 세척단계를 연속적으로 교차 반복하는, 산업폐수 처리방법.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 세라믹막에 인가되는 음압이 기준압력에 도달하는 경우, 진행중인 상기 가동단계 또는 상기 세척단계를 중단하고 상기 나노버블장치를 가동하여 상기 원수탱크에 수용된 원수 및 상기 생산수탱크에 수용된 생산수에 나노버블을 주입하여 포화시키는 나노버블 포화단계를 더 포함하며,

상기 나노버블 포화단계 이후 상기 나노버블장치의 가동을 중단하고 상기 가동단계 및 상기 세척단계를 연속적으로 교차 반복하는, 산업폐수 처리방법.

청구항 13

제12항에 있어서,

상기 기준압력은 제1 기준압력, 제2 기준압력 및 제3 기준압력을 포함하며,

상기 제1 기준압력은 -15kPa이고,

상기 제2 기준압력은 -25kPa이며,

상기 제3 기준압력은 -35kPa인, 산업폐수 처리방법.

청구항 14

제11항에 있어서,

상기 세라믹막에 인가되는 음압이 임계압력에 도달하는 경우, 진행중인 상기 가동단계 또는 상기 세척단계를 중단하고 상기 나노버블장치를 가동하여 상기 원수탱크에 수용된 원수 및 상기 생산수탱크에 수용된 생산수에 나노버블을 주입하여 포화시키는 나노버블 포화단계를 더 포함하며,

상기 나노버블 포화단계 이후 상기 나노버블장치의 가동을 유치한 채로 상기 가동단계 및 상기 세척단계를 연속적으로 교차 반복하는, 산업폐수 처리방법.

청구항 15

제14항에 있어서,

상기 임계압력은 -35kPa인, 산업폐수 처리방법.

청구항 16

제11항에 있어서,

상기 세라믹막에 인가되는 음압이 -60kPa에 도달하는 경우 상기 시스템의 가동을 중단하고 상기 세라믹막을 교체하는 교체단계를 더 포함하는, 산업폐수 처리방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 세라믹막을 적용하여 산업폐수를 정화하는 시스템 및 이를 이용한 산업폐수 처리방법으로, 보다 상세하게는 원수 및 생산수에 나노버블을 선택적으로 적용한 복합 나노버블 시스템 및 이를 이용한 산업폐수 처리방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 「물환경보전법」에서는 수질오염물질을 배출하는 시설물, 기계, 기구 및 그 밖의 물체를 폐수배출시설로 정의하고 있으며, 배출시설 또는 방지시설을 운영하는 자는 발생되는 수질오염물질이 배출허용기준 이하로 배출하도록 의무화하고 있다. 이에 따라 폐수배출시설은 시설에서 발생하는 산업폐수를 정화하기 위한 정화장치를 구비하며, 정화장치를 통해 발생되는 산업폐수를 정화하여 외부로 배출한다.

[0003] 다양한 정화장치의 운용방식이 제안되었으나, 여과 효율 및 경제성 등의 이유로 현재 산업폐수의 정화에 널리 이용되는 방식은 필터를 이용한 막여과 시스템이다. 막여과 시스템의 경제성은 정화장치 설치 시 요구 면적의 감소, 운영 시 전력 소모량 감소 및 성능 손실의 최소화, 공정별 요구조건을 만족하는 생산수를 유지하는 능력에 의해 크게 좌우된다. 민간기업, 대학 등 다양한 연구 주체들은 설치 시 요구 면적의 감소와 높은 품질의 생산수를 지속적으로 생산하기 위한 목적으로 연구를 진행 중이나, 막여과 시스템의 경제성을 효과적으로 향상시키기 위한 실질적인 방안이 제시되지는 못한 실정이다.

선행기술문헌

특허문헌

[0004] (특허문헌 0001) 한국 등록특허공보 제10-1906533호 (2018.10.10. 공고)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 본 발명의 일 측면은 경제적이면서도 효과적으로 산업폐수를 정화할 수 있는 수처리 시스템 및 이를 이용한 산업폐수 처리방법을 제공하는 것이다.

[0006] 본 발명의 일 측면은 화학 약품을 이용하지 않으면서도, 세라믹막의 파울링(fouling)을 경제적이고도 효과적으로 억제 가능한 수처리 시스템 및 이를 이용한 산업폐수 처리방법을 제공하는 것이다.

[0007] 본 발명의 과제는 상술한 내용에 한정되지 않는다. 본 발명이 속하는 기술분야의 통상의 기술자라면 본 명세서의 전반적인 내용으로부터 본 발명의 추가적인 과제를 쉽게 이해하는데 어려움이 없을 것이다.

과제의 해결 수단

[0008] 본 발명의 일 측면에 따른 복합 나노버블 시스템은, 원수를 저장 가능한 원수탱크; 상기 원수를 여과한 생산수를 저장 가능한 생산수탱크; 상기 원수탱크와 상기 생산수탱크 사이에 배치되며, 오염물질을 여과 가능한 세라믹막이 침지되어 구비되는 세라믹 침지조; 상기 원수탱크에 저장된 원수 및 상기 생산수탱크에 저장된 생산수에 나노버블을 공급 가능한 나노버블장치; 및 상기 생산수탱크로부터 상기 세라믹 침지조에 상기 생산수를 선택적으로 공급 가능한 역세라인을 포함할 수 있다.

[0009] 상기 복합 나노버블 시스템은, 상기 원수탱크로부터 상기 나노버블장치를 향해 연장되며, 상기 원수탱크에 수용된 상기 원수가 상기 나노버블장치로 이동하는 경로를 제공하는 원수유입라인; 상기 나노버블장치로부터 상기 원수탱크를 향해 연장되며, 상기 나노버블장치에 유입되어 나노버블이 주입된 상기 원수가 상기 원수탱크로 이동하는 경로를 제공하는 원수유출라인; 상기 원수유입라인 상에 구비되어 상기 원수유입라인을 따라 이동하는 상기 원수의 유량을 조절 가능한 원수유입라인밸브; 및 상기 원수유출라인 상에 구비되어 상기 원수유출라인을 따라 이동하는 상기 나노버블이 주입된 원수의 유량을 조절 가능한 원수유출라인밸브를 더 포함할 수 있다.

[0010] 상기 복합 나노버블 시스템은, 상기 원수유입라인 상에 구비되어 상기 원수유입라인을 따라 이동하는 상기 원수의 이동 구동력을 제공하는 원수유입펌프; 및 상기 원수유출라인 상에 구비되어 상기 원수유출라인을 따라 이동하는 상기 나노버블이 주입된 원수의 이동 구동력을 제공하는 원수유출펌프를 더 포함할 수 있다.

[0011] 상기 복합 나노버블 시스템은, 상기 원수탱크에 연결되어 상기 원수탱크에 수용된 상기 원수를 교반 가능한 교반기를 더 포함할 수 있다.

[0012] 상기 복합 나노버블 시스템은, 상기 원수탱크로부터 상기 세라믹 침지조를 향해 연장되며, 상기 원수탱크에 수

용된 상기 원수가 상기 세라믹 침지조로 이동하는 경로를 제공하는 원수공급라인; 및 상기 원수공급라인 상에 구비되어 상기 원수공급라인을 따라 이동하는 상기 원수의 이동 구동력을 제공하는 원수공급펌프를 더 포함할 수 있다.

[0013] 상기 복합 나노버블 시스템은, 상기 세라믹 침지조에 침지된 세라믹막을 향해 공기를 주입 가능한 공기주입장치를 더 포함할 수 있다.

[0014] 상기 복합 나노버블 시스템은, 상기 세라믹 침지조로부터 상기 생산수탱크를 향해 연장되며, 상기 세라믹 침지조에서 여과된 생산수가 상기 생산수탱크로 이동하는 경로를 제공하는 생산수공급라인; 상기 생산수공급라인 상에 구비되어 상기 생산수공급라인을 따라 이동하는 상기 생산수의 이동 구동력을 제공하는 생산수공급펌프; 및 상기 생산수공급라인 상에 구비되어 상기 세라믹막에 인가되는 음압을 측정 가능한 압력계를 더 포함할 수 있다.

[0015] 상기 복합 나노버블 시스템은, 상기 생산수탱크로부터 상기 세라믹 침지조를 향해 연장되며, 상기 생산수탱크에 수용된 상기 생산수가 상기 세라믹 침지조를 향해 이동하는 경로를 제공하는 역세라인; 상기 역세라인 상에 구비되어 상기 역세라인을 따라 이동하는 상기 생산수의 이동 구동력을 제공하는 역세펌프; 상기 역세라인으로부터 분기되어 상기 생산수탱크를 향해 연장되며, 상기 역세라인을 따라 이동하던 상기 생산수가 상기 생산수탱크로 이동하는 경로를 제공하는 유량조절라인; 및 상기 역세라인 및 상기 유량조절라인에 각각 구비되어 상기 역세라인 및 상기 유량조절라인을 따라 이동하는 상기 생산수의 유량을 조절 가능한 제1 및 제2 유량조절밸브를 더 포함할 수 있다.

[0016] 상기 복합 나노버블 시스템은, 상기 생산수탱크로부터 상기 나노버블장치를 향해 연장되며, 상기 생산수탱크에 수용된 상기 생산수가 상기 나노버블장치로 이동하는 경로를 제공하는 생산수유입라인; 상기 나노버블장치로부터 상기 생산수탱크를 향해 연장되며, 상기 나노버블장치에 유입되어 나노버블이 주입된 상기 생산수가 상기 생산수탱크로 이동하는 경로를 제공하는 생산수유출라인; 상기 생산수유입라인 상에 구비되어 상기 생산수유입라인을 따라 이동하는 상기 생산수의 유량을 조절 가능한 생산수유입라인밸브; 및 상기 생산수유출라인 상에 구비되어 상기 생산수유출라인을 따라 이동하는 상기 나노버블이 주입된 상기 생산수의 유량을 조절 가능한 생산수유출라인밸브를 더 포함할 수 있다.

[0017] 상기 복합 나노버블 시스템은, 상기 생산수유입라인 상에 구비되어 상기 생산수유입라인을 따라 이동하는 상기 생산수의 이동 구동력을 제공하는 생산수유입펌프; 및 상기 생산수유출라인 상에 구비되어 상기 생산수유출라인을 따라 이동하는 상기 나노버블이 주입된 원수의 이동 구동력을 제공하는 생산수유출펌프를 더 포함할 수 있다.

[0018] 본 발명의 일 측면에 따른 산업폐수 처리방법은, 상기 복합 나노버블 시스템을 이용하며, 기설정된 가동시간 동안 상기 세라믹 침지조를 가동하여 상기 원수로부터 상기 생산수를 생산하는 가동단계; 및 상기 가동시간 만료 후 기설정된 역세시간 동안 상기 세라믹 침지조의 가동을 중단하고 상기 생산수탱크로부터 상기 세라믹 침지조에 상기 생산수를 공급하여 상기 세라믹막을 세척하는 세척단계를 포함하되, 상기 가동단계 및 상기 세척단계를 연속적으로 교차 반복할 수 있다.

[0019] 상기 산업폐수 처리방법은, 상기 세라믹막에 인가되는 음압이 기준압력에 도달하는 경우, 진행중인 상기 가동단계 또는 상기 세척단계를 중단하고 상기 나노버블장치를 가동하여 상기 원수탱크에 수용된 원수 및 상기 생산수탱크에 수용된 생산수에 나노버블을 주입하여 포화시키는 나노버블 포화단계를 더 포함하며, 상기 나노버블 포화단계 이후 상기 나노버블장치의 가동을 중단하고 상기 가동단계 및 상기 세척단계를 연속적으로 교차 반복할 수 있다.

[0020] 상기 기준압력은 제1 기준압력, 제2 기준압력 및 제3 기준압력을 포함하며, 상기 제1 기준압력은 -15kPa이고, 상기 제2 기준압력은 -25kPa이며, 상기 제3 기준압력은 -35kPa일 수 있다.

[0021] 상기 산업폐수 처리방법은, 상기 세라믹막에 인가되는 음압이 임계압력에 도달하는 경우, 진행중인 상기 가동단계 또는 상기 세척단계를 중단하고 상기 나노버블장치를 가동하여 상기 원수탱크에 수용된 원수 및 상기 생산수탱크에 수용된 생산수에 나노버블을 주입하여 포화시키는 나노버블 포화단계를 더 포함하며, 상기 나노버블 포화단계 이후 상기 나노버블장치의 가동을 유지한 채로 상기 가동단계 및 상기 세척단계를 연속적으로 교차 반복할 수 있다.

[0022] 상기 임계압력은 -35kPa일 수 있다.

[0023] 상기 산업폐수 처리방법은, 상기 세라믹막에 인가되는 음압이 -60kPa에 도달하는 경우 상기 시스템의 가동을 중단하고 상기 세라믹막을 교체하는 교체단계를 더 포함할 수 있다.

발명의 효과

[0024] 본 발명의 일 측면에 따르면 경제적이면서도 효과적으로 산업폐수를 정화할 수 있는 수처리 시스템 및 이를 이용한 산업폐수 처리방법이 제공될 수 있다.

[0025] 본 발명의 일 측면에 따르면 화학 약품을 이용하지 않으면서도, 세라믹막의 파울링(fouling)을 경제적이고도 효과적으로 억제 가능한 수처리 시스템 및 이를 이용한 산업폐수 처리방법이 제공될 수 있다.

[0026] 본 발명의 효과는 상술한 사항에 한정되지 않으며, 당해 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자가 아래의 설명으로부터 합리적으로 유추 가능한 사항을 포함할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0027] 도 1은 본 발명의 일 측면에 따른 복합 나노버블 시스템을 개략적으로 도시한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0028] 이하, 본 발명의 일 측면에 따른 세라믹막을 포함하는 복합 나노버블 시스템 및 이를 이용한 산업폐수 처리방법의 바람직한 실시예들을 첨부된 도면을 참고하여 더욱 상세히 설명한다. 본 발명의 실시예들은 여러 가지 형태로 변형될 수 있으며, 본 발명의 범위가 아래에서 설명하는 실시예들에 한정되는 것으로 해석되어서는 안 된다. 본 실시예들은 당해 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 본 발명을 더욱 상세하게 설명하기 위하여 제공되는 것이다. 따라서, 도면에 나타난 각 요소의 형상은 보다 분명한 설명을 위하여 강조되거나 과장될 수 있다.

[0030] 막여과 시스템의 경제성 확보에 있어서 가장 핵심적인 부분은 역삼투(reverse osmosis, RO)막의 수명을 증가시키는 것이다. 역삼투막의 운영 시 원수 내에 포함되어 있는 미립자, 유기·무기 오염물질, 원수 내에 존재하는 미생물 및 기타 물질 등에 의해 파울링(fouling) 현상이 필연적으로 발생하며, 파울링 현상에 의해 역삼투막의 수명이 저하되고 생산수 플럭스(Flux) 감소가 야기되어 막여과 시스템의 경제성 확보에 악영향을 미치게 된다. 파울링(fouling) 현상을 억제하기 위한 방안으로, 원수가 역삼투막에 유입되기 이전에 가드 역할을 하는 장치를 추가하여 역삼투막의 부하를 감소시키는 방안이 제시된 바 있다.

[0032] 역삼투막의 가드 역할을 하는 시스템으로는 침지식 시스템 또는 가압식 시스템이 제안된 바 있으며, 이 중 침지식 시스템은 반응조 내에 역삼투막을 설치하고 원수로 침지시킨 이후 역삼투막 전체로 여과시키는 방법으로 운영되는 시스템을 의미한다. 침지식 시스템의 경우 대체적으로 원수의 농도가 높기 때문에, 역삼투막의 파울링을 저감하기 위하여 여과 시 공기 주입을 동시에 진행하는 것이 일반적이다. 침지식 시스템의 특성 상 반응조 내 원수의 농도가 지속적으로 증가하게 되므로, 추가적인 원수의 처리가 없는 경우 공기 주입의 효과는 포화되며, 역삼투막의 파울링으로 인하여 역삼투막에 인가되는 압력이 증가하고 생산수의 수율이 감소할 수밖에 없다.

[0034] 본 발명의 발명자는 침지식 시스템에 있어서 역삼투막의 파울링을 효과적으로 방지 가능한 경제적인 방안에 대해 심도 있는 연구를 수행하였으며, 그 결과 본 발명의 시스템을 도출하게 되었다.

[0036] 이하, 본 발명의 일 측면에 따른 세라믹막을 포함하는 복합 나노버블 시스템을 보다 상세히 설명한다.

[0038] 도 1은 본 발명의 일 측면에 따른 복합 나노버블 시스템을 개략적으로 도시한 도면으로, 본 발명의 일 측면에 따른 복합 나노버블 시스템(1)은, 원수탱크(10), 세라믹 침지조(20), 생산수탱크(30) 및 나노버블장치(40)를 포함할 수 있다.

[0040] 원수탱크(10)에는 원수, 즉 산업폐수가 수용될 수 있다. 본 발명의 산업폐수는 다양한 산업군에서 배출되는 산업폐수를 의미할 수 있으며, 산업폐수에 포함되는 오염물질 또한 특별히 제한되지 않는다. 원수탱크(10)의 일측 또는 원수탱크(10)의 내부에는 교반기(12)가 배치될 수 있으며, 교반기(12)에 의해 원수탱크(10)의 내부에 수용된 원수가 균일하게 교반될 수 있다.

[0042] 세라믹 침지조(20)에는 오염물질을 여과 가능한 세라믹막이 침지되어 구비될 수 있다. 본 발명의 세라믹막은 그 구조 및 소재가 특별히 제한되는 것은 아니지만, 본 발명의 세라믹막은 알루미나로 제작된 세라믹막으로, 유효막 면적인 0.3~0.7 m^2 이고, 공경이 0.08~0.12 ㎛이며, 순수투과유속이 30~50 m/d인 세라믹평막이 바람직할 수 있다. 또한, 본 발명의 세라믹막은 역삼투 방식에 의해 오염물질을 정화하는 역삼투 세라믹막일 수 있다.

[0044] 원수공급라인(110)은 원수탱크(10)로부터 세라믹 침지조(20)를 향해 연장되도록 구비되며, 원수공급라인(110)을 통해 원수탱크(10)에 수용된 원수가 세라믹 침지조(20)로 이동할 수 있다. 원수공급라인(110) 상에는 원수공급라인(110)을 따라 이동하는 원수에 이동 구동력을 제공하는 원수공급펌프(63)가 구비될 수 있으며, 원수공급펌프(63)가 가동함에 따라 원수탱크(10)에 수용된 원수가 원수공급라인(110)을 따라 세라믹 침지조(20)로 유동할 수 있다.

[0046] 세라믹 침지조(20)의 일단에는 공기주입장치(22)가 구비될 수 있다. 공기주입라인(128)은 세라믹 침지조(20)와 공기주입장치(22) 사이에 구비되며, 공기주입라인(128) 상에는 공기의 이동 구동력을 제공하는 공기주입펌프(68)와 공기의 유량을 제어 가능한 공기주입밸브(129)가 구비될 수 있다. 공기주입장치(22)에서 발생된 고압 공기는 공기주입라인(128)을 따라 세라믹 침지조(20)로 공급되며, 고압 공기는 세라믹막에 분사될 수 있다. 공기주입 조건은 세라믹막의 설치 형태 및 운전상황에 따라 다양하게 적용 가능하나, 바람직하게는 100~600 ㎛의 기포 크기를 가지는 고압 공기를 3~5 L/m의 유입량으로 주입할 수 있다. 세라믹막에 고압공기가 분사됨에 따라 세라믹막의 표면에 오염물질이 흡착되는 것을 효과적으로 방지할 수 있으며, 그에 따라 세라믹막의 파울링(fouling) 현상 억제 효과가 향상될 수 있다.

[0048] 생산수공급라인(120)은 세라믹 침지조(20)로부터 생산수탱크(30)를 향해 연장되도록 구비되며, 세라믹 침지조(20)에서 여과된 생산수가 생산수공급라인(120)을 따라 생산수탱크(30)로 이동하여 수용될 수 있다. 생산수공급라인(120) 상에는 생산수공급라인(120)을 따라 이동하는 생산수에 이동 구동력을 제공하는 생산수공급펌프(66)가 구비될 수 있으며, 생산수공급펌프(66)가 가동함에 따라 세라믹막에 음압이 제공될 수 있다. 생산수공급라인(120) 상에는 압력계(52, 54) 및 유량계(56)가 구비될 수 있으며, 이들에 의해 세라믹막에 가해지는 음압 및 생산수공급라인(120)을 통해 이동한 생산수의 유량을 측정할 수 있다. 압력계(52, 54)는 기계식 압력계(52)와 디지털 압력계(54)가 쌍을 이루어 구비될 수 있으며, 상호간의 크로스 체크를 통해 압력계(52, 54)의 정상 작동 여부를 확인할 수 있다. 생산수공급라인(120) 상에는 제1 솔레노이드밸브(121)가 배치될 수 있으며, 제1 솔레노이드밸브(121)는 생산수공급펌프(66)의 작동 시에만 작동하도록 구비되어 생산수의 생산수공급라인(120) 유입 유무를 결정할 수 있도록 구비될 수 있다.

[0050] 역세라인(122)은 생산수탱크(30)로부터 세라믹 침지조(20)를 향해 연장되도록 구비될 수 있으며, 후술하는 바와 같이 역세라인(122)을 따라서 이동한 생산수에 의해 세라믹막의 세척이 이루어질 수 있다. 역세라인(122)의 일단은, 도 1에 도시된 바와 같이, 세라믹 침지조(20)로부터 생산수가 배출되는 생산수공급라인(120)의 일단측에 연결되는 것이 바람직할 수 있다. 역세라인(122) 상에는 역세라인(122)을 통해 이동하는 생산수에 이동 구동력을 제공하는 역세펌프(67), 역세라인(122)을 통해 이동하는 생산수의 유량을 측정 가능한 유량계(58) 및 역세라인(122)을 통해 유동하는 생산수의 유량을 조절 가능한 제2 솔레노이드밸브(123)가 구비될 수 있다. 제2 솔레노이드밸브(123)는 역세펌프(67)의 작동 시에만 작동하도록 구비되어 생산수의 세라믹 침지조(20) 유입 유무를 결정할 수 있도록 구비될 수 있다.

[0052] 유량조절라인(126)은 역세라인(122)으로부터 분기되어 생산수탱크(30)를 향해 연장되도록 구비되며, 유량계(58)에서 기준치 이상의 생산수가 역세라인(122)을 통해 이동하는 것으로 확인되는 경우 역세라인(122)을 통해 이동하는 생산수는 유량조절라인(126)을 통해 생산수탱크(30)로 회수될 수 있다. 역세라인(122) 및 유량조절라인(126) 상에는 역세라인(122) 및 유량조절라인(126)을 통해 이동하는 생산수의 유량을 조절 가능한 제1 유량조절밸브(124) 및 제2 유량조절밸브(125)가 구비될 수 있으며, 제1 유량조절밸브(124) 및 제2 유량조절밸브(125)의 개도 조절을 통해 세라믹 침지조(20)로 공급되는 생산수의 유량 및 생산수 탱크(30)로 회수되는 생산수의 유량이 조절될 수 있다.

[0054] 나노버블장치(40)는 원수탱크(10)에 저장된 원수 및 생산수탱크(30)에 저장된 생산수에 나노버블을 주입 가능하도록 구비될 수 있다. 본 발명의 나노버블장치(40)에서 발생하는 나노버블의 사이즈는 특별히 제한되는 것은 아니지만, 20~300 ㎚의 직경을 가지는 나노버블이 바람직할 수 있다.

[0056] 원수유입라인(114)은 원수탱크(10)로부터 나노버블장치(40)를 향해 연장되도록 구비되며, 원수탱크(10)에 수용된 원수는 원수유입라인(114)을 따라 나노버블장치(40)로 이동할 수 있다. 원수유입라인(114) 상에는 원수유입라인(114)을 따라 이동하는 원수에 이동 구동력을 제공 가능한 원수유입펌프(61) 및 원수유입라인(114)을 따라 이동하는 원수의 유량을 조절 가능한 원수유입라인밸브(115)가 구비될 수 있다. 원수유출라인(112)는 나노버블장치(40)로부터 원수탱크(10)를 향해 연장되도록 구비되며, 나노버블장치(40)에서 나노버블이 주입된 원수는 원수유출라인(112)을 따라 원수탱크(10)로 이동할 수 있다. 원수유출라인(112) 상에는 원수유출라인(112)을 따라 이동하는 나노버블이 주입된 원수에 이동 구동력을 제공 가능한 원수유출펌프(62) 및 원수유출라인(112)을 따라 이동하는 나노버블이 주입된 원수의 유량을 조절 가능한 원수유출라인밸브(113)가 구비될 수 있다. 원수유입라인(114)과 원수유출라인(112)이 원수탱크(10)에 연결되는 위치는 특별히 제한되는 것은 아니나, 나노버블의 포화효과를 고려할 때 원수유출라인(112)은 원수탱크(10)의 하부측에 연결되고 원수유입라인(114)은 원수유출라인(112)에 비해 상대적으로 상부측에서 원수탱크(10)와 연결되는 것이 바람직하다. 후술하는 바와 같이, 압력계(52, 54)에서 측정된 음압이 기준압력을 초과하는 경우 나노버블장치(40)의 가동이 개시되며, 그에 따라 원수탱크(10)에 수용된 원수에 나노버블이 포화될 수 있다.

[0058] 생산수유입라인(132)은 생산수탱크(30)로부터 나노버블장치(40)를 향해 연장되도록 구비되며, 생산수탱크(10)에 수용된 생산수는 생산수유입라인(132)을 따라 나노버블장치(40)로 이동할 수 있다. 생산수유입라인(132) 상에는 생산수유입라인(132)을 따라 이동하는 생산수에 이동 구동력을 제공 가능한 생산수유입펌프(64) 및 생산수유입라인(132)을 따라 이동하는 생산수의 유량을 조절 가능한 생산수유입라인밸브(133)가 구비될 수 있다. 생산수유출라인(134)는 나노버블장치(40)로부터 생산수탱크(30)를 향해 연장되도록 구비되며, 나노버블장치(40)에서 나노버블이 주입된 생산수는 생산수유출라인(134)을 따라 생산수탱크(30)로 이동할 수 있다. 생산수유출라인(134) 상에는 생산수유출라인(134)을 따라 이동하는 나노버블이 주입된 생산수에 이동 구동력을 제공 가능한 생산수유출펌프(65) 및 생산수유출라인(134)을 따라 이동하는 나노버블이 주입된 생산수의 유량을 조절 가능한 생산수유출라인밸브(135)가 구비될 수 있다. 생산수유입라인(132)과 생산수유출라인(134)이 생산수탱크(30)에 연결되는 위치는 특별히 제한되는 것은 아니나, 나노버블의 포화효과를 고려할 때 생산수유출라인(134)은 생산수탱크(30)의 하부측에 연결되고 생산수유입라인(132)은 생산수유출라인(134)에 비해 상대적으로 상부측에서 생산수탱크(30)와 연결되는 것이 바람직하다. 후술하는 바와 같이, 압력계(52, 54)에서 측정된 음압이 기준압력을 초과하는 경우 나노버블장치(40)의 가동이 개시되며, 그에 따라 생산수탱크(30)에 수용된 원수에 나노버블이 포화될 수 있다.

[0060] 본 발명의 일 측면에 따른 복합 나노버블 시스템은 압력계(52, 54) 및 유량계(56, 58)로부터 신호를 수신하고, 이와 같은 신호를 기초로 펌프(61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68), 밸브(113, 115, 121, 123, 124, 125, 129, 133,135), 교반기(12), 공기주입장치(22) 및 나노버블 장치(40)를 제어 가능한 제어기(미도시)를 더 포함할 수 있다.

[0062] 본 발명의 발명자의 연구 결과에 따르면 입경이 수십 내지 수백 나노미터인 나노버블은 유체 내에서 척력에 의해 서로 합쳐지지 않으며, 유체 내에서 장기간 존재 가능하며, 입경이 매우 작아 침투성이 높은 것을 확인할 수 있었다. 본 발명의 일 측면에 따른 복합 나노버블 시스템(1)은 입경이 20~300 nm인 나노버블을 선택적으로 원수탱크(10)에 수용된 원수 및 생산수탱크(30)에 수용된 생산수에 선택적으로 주입한 후 원수의 여과 또는 세라믹막 세척작업을 실시하므로, 나노버블이 세라믹막의 표면에 부착되어 입자성 물질이 강력한 집합체(aggregation)을 형성하는 것을 지연시키며, 그에 따라 세라믹막의 파울링(fouling) 현상을 효과적으로 억제할 수 있다.

[0064] 본 발명의 발명자는 물리적 세정을 통해 수명이 유한한 세라믹막의 수명을 극대화하면서도 생산수량(Flux)을 효과적으로 확보 가능한 방안에 대해 심도 있는 연구를 수행하였으며, 그 결과 본 발명의 산업폐수 처리방법을 도출하게 되었다.

[0066] 이하, 전술한 복합 나노버블 시스템을 이용하여 산업폐수를 처리하는 방법에 대해 보다 상세히 설명한다.

[0068] 본 발명의 일 측면에 따른 산업폐수의 처리방법은 전술한 복합 나노버블 시스템(1)을 이용하므로, 산업폐수 처리방법에 이용되는 복합 나노버블 시스템(1)에 대한 설명은 전술한 설명으로 대신한다.

[0070] 복합 나노버블 시스템(1)의 초기 가동 이후 기설정된 가동시간(T1) 동안 세라믹 침지조(20)에 원수를 공급하여 생산수를 생산하는 가동단계(S1) 및 가동시간(T1) 종료 후 기설정된 역세시간(T2) 동안 세라믹 침지조(20)에 원수 공급을 중단하고 생산수탱크(30)로부터 세라믹 침지조(20)에 생산수를 공급하여 세라믹막을 세척하는 세척단계(S2)가 하나의 주기를 이루어 반복 수행될 수 있다. 이때 원수유입라인밸브(115) 및 원수유출라인밸브(113)는 폐쇄된 상태이며, 나노버블장치(40)는 가동하지 않는 상태이며, 교반기(12)와 공기주입장치(22)는 지속적으로 가동하는 상태이다.

[0072] 가동시간(T1) 및 역세시간(T2)은 산업폐수의 종류 및 오염도에 따라 달리 적용될 수 있으나, 예시적인 가동시간(T1) 및 역세시간(T2)은 각각 8분 30초 내지 9분 30초 및 30초 내지 1분 30초일 수 있다. 가동단계(S1)에서 제1 솔레노이드밸브(121)는 개방된 상태이며, 제2 솔레노이드밸브(123), 제1 유량조절밸브(124) 및 제2 유량조절밸브(125)는 폐쇄된 상태이고, 원수공급펌프(63) 및 생산수공급펌프(66)가 가동하므로, 세라믹 침지조(20)에서 배출된 생산수는 생산수공급라인(120)을 통해 생산수탱크(30)로 이동하여 수용될 수 있다.

[0074] 가동시간(T1)이 경과한 후 세척단계(S2)로 전환되며, 이때 제1 솔레노이드밸브(121)는 폐쇄상태로 전환되고, 원수공급펌프(63) 및 생산수공급펌프(65)는 가동을 중단하여 생산수의 생산이 중단될 수 있다. 동시에, 제2 솔레노이드밸브(123), 제1 유량조절밸브(124) 및 제2 솔레노이드밸브(123)는 개방 상태로 전환되며, 역세펌프(67)가 가동하여 생산수가 세라믹 침지조(20)에 공급될 수 있다. 생산수가 세라믹 침지조(20)에 유입됨에 따라 세라믹막의 역세척이 이루어지며, 그에 따라 세라믹막의 파울링(fouling) 현상을 효과적으로 억제할 수 있다.

[0076] 세척단계(S2)에서 제어부(도시 안함)는 유량계(58)에서 측정되는 생산수의 유량이 기설정된 유량을 초과하는지 여부를 판단하며, 생산수의 유량이 기설정된 유량을 초과하는 경우 제1 유량조절밸브(124)를 폐쇄하고 제2 유량조절밸브(125)를 개방하여 유량조절라인(126)을 통해 과량의 생산수가 생산수탱크(30)로 회수될 수 있도록 제어할 수 있다. 세척단계(S2)에서 세라믹 침지조(20)에 공급되는 생산수의 유량은 산업폐수의 종류 및 오염도에 따라 결정될 수 있다.

[0078] 복합 나노버블 시스템(1)의 초기 가동 이후 가동단계(S1) 및 세척단계(S2)를 반복 실시하더라도, 세라믹막 시스

템의 구조 상 세라믹막에 오염물질이 부착 및 흡착되는 것을 원천적으로 차단하는 것에는 한계점이 존재한다. 따라서, 본 발명의 일측면에 따른 산업폐수 처리방법은 원수 및 생산수에 나노버블을 주입하여 막여과 및 막세척을 실시하여 세라믹막의 파울링(fouling) 억제 효과를 극대화하고자 한다. 한편, 나노버블 생산에는 다량의 전력이 소요되므로, 본 발명의 일 측면에 따른 산업폐수 처리방법은 압력계(52, 54)를 이용하여 세라믹막에 인가되는 음압의 크기를 측정하며, 측정되는 음압의 크기가 기준 압력을 초과하는 경우 나노버블장치(40)의 운전 조건을 달리 적용하여 세라믹막의 파울링(fouling) 현상을 경제적이면서도 효과적으로 억제하고자 한다. 참고로, 본 명세서에 기재된 세라믹막에 인가되는 음압의 크기는 압력의 절대값을 기준으로 한다.

[0080] 복합 나노버블 시스템(1)의 초기 가동 이후 가동단계(S1) 및 세척단계(S2)를 반복적으로 실시하더라도, 압력계(52, 54)에서 측정되는 음압은 점점 증가하는 경향을 나타내게 된다.

[0082] 압력계(52, 54)에서 측정되는 음압이 제1 기준압력에 도달하는 경우, 제어부(도시 안함)는 해당 시점에서 복합 나노버블 시스템(1)의 가동을 중단하고 나노버블장치(40)를 가동하여 원수탱크(10)에 수용된 원수 및 생산수탱크(30)에 수용된 생산수에 나노버블을 주입하는 제1 나노버블 포화단계(SA)를 거치게 된다. 즉, 제1 기준압력에 도달하는 경우, 제1 솔레노이드밸브(121) 및 제2 솔레노이드밸브(123)는 폐쇄되고, 원수유출라인밸브(113), 원수유입라인밸브(115), 생산수유입라인밸브(133) 및 생산수유출라인밸브(135)는 개방된 상태로 전환되며, 원수유입펌프(61), 원수유출펌프(62), 생산수유입펌프(64), 생산수유출펌프(65) 및 나노버블장치(40)는 가동을 개시한다. 나노버블장치(40)가 가동함에 따라 원수탱크(10) 내의 원수 및 생산수탱크(30) 내의 생산수에 나노버블이 주입되며, 원수탱크(10) 내의 원수 및 생산수탱크(30) 내의 생산수에 나노버블이 포화되는 경우 원수유입펌프(61), 원수유출펌프(62), 생산수유입펌프(64), 생산수유출펌프(65) 및 나노버블장치(40)는 가동을 중단하고, 원수유출라인밸브(113), 원수유입라인밸브(115), 생산수유입라인밸브(133) 및 생산수유출라인밸브(135)를 폐쇄하여 제1 나노버블 포화단계(SA)를 종료한다. 제1 나노버블 포화단계(SA)에서 교반기(12) 및 공기주입장치(22)는 지속적으로 가동할 수 있다.

[0084] 제1 나노버블 포화단계(SA) 이후 가동단계(S1A) 및 세척단계(S2A)를 교차적으로 반복 실시하며, 원수 및 생산수에 나노버블이 주입된 상태로 원수의 여과 및 세라믹막의 세척이 이루어지게 된다.

[0086] 제1 나노버블 포화단계(SA) 이후 압력계(52, 54)에서 측정되는 음압이 제1 기준압력보다 더 큰 제2 기준압력에 도달하는 경우, 제어부(도시 안함)는 해당 시점에서 복합 나노버블 시스템(1)의 가동을 중단하고 나노버블장치(40)를 가동하여 원수탱크(10)에 수용된 원수 및 생산수탱크(30)에 수용된 생산수에 나노버블을 주입하도록 제어하여 제2 나노버블 포화단계(SB)를 진행한다. 제2 나노버블 포화단계(SB)는 제1 나노버블 포화단계(SA)와 동일한 방법에 의해 수행될 수 있다.

[0088] 제2 나노버블 포화단계(SB) 이후 가동단계(S1B) 및 세척단계(S2B)를 교차적으로 반복 실시하며, 원수 및 생산수에 나노버블이 주입된 상태로 원수의 여과 및 세라믹막의 세척이 이루어지게 된다.

[0090] 제2 나노버블 포화단계(SB) 이후 압력계(52, 54)에서 측정되는 음압이 제2 기준압력보다 더 큰 제3 기준압력에 도달하는 경우, 제어부(도시 안함)는 해당 시점에서 복합 나노버블 시스템(1)의 가동을 중단하고 나노버블장치(40)를 가동하여 원수탱크(10)에 수용된 원수 및 생산수탱크(30)에 수용된 생산수에 나노버블을 주입하도록 제어하여 제3 나노버블 포화단계(SC)를 진행한다. 제3 나노버블 포화단계(SC)는 제1 나노버블 포화단계(SA) 및 제2 나노버블 포화단계(SB)와 동일한 방법에 의해 수행될 수 있다.

[0092] 제3 나노버블 포화단계(SC) 이후 가동단계(S1C) 및 세척단계(S2C)를 교차적으로 반복 실시하며, 원수 및 생산수에 나노버블이 주입된 상태로 원수의 여과 및 세라믹막의 세척이 이루어지게 된다.

[0094] 제1 기준압력은 -15kPa일 수 있으며, 제2 기준압력은 -25kPa일 수 있고, 제3 기준압력은 -35kPa일 수 있다.

[0096] 본 발명자의 실험 결과에 따르면, 제1 나노버블 포화단계(SA) 이후에 압력계(52, 54)에서 측정되는 압력은 초기 압력과 유사한 수준으로 회복되었다가 이후 시간이 경과함에 따라 복합 나노버블 시스템(1) 초기 가동시에 비해 더 빠른 속도로 제2 기준압력에 도달하며, 제2 나노버블 포화단계(SB) 이후에 압력계(52, 54)에서 측정되는 압력은 제1 기준압력에 비해 다소 낮은 수준으로 회복되었다가 이후 시간이 경과함에 따라 제1 나노버블 포화단계(SA)를 거친 경우에 비해 더 빠른 속도로 제3 기준압력에 도달하고, 제3 나노버블 포화단계(SC) 이후에 압력계(52, 54)에서 측정되는 압력은 제1 기준압력에 비해 다소 높은 수준으로 회복되었다가 이후 시간이 경과함에 따라 제2 나노버블 포화단계(SB)를 거친 이후에 비해 더 빠른 속도로 제3 기준압력에 도달하는 것을 확인할 수 있었다. 즉, 나노버블 포화단계를 적용하는 경우 세라믹막의 파울링(fouling) 억제 효과가 상당한 수준으로 발생하지만, 나노버블 포화단계를 반복 적용하는 것 만으로는 세라믹막의 파울링(fouling) 현상 억제에 기술적 한계점이 존재하는 것을 알 수 있었다.

[0098] 본 발명의 일 측면에 따른 산업폐수 처리방법은, 제3 나노버블 포화단계(SC) 이후 제4 나노버블 포화단계(SD)를 반복하여 실시하지만, 제4 나노버블 포화단계(SD) 이후의 가동단계(S1D) 및 세척단계(S2D)를 기존의 가동단계(S1A~S1C) 및 세척단계(S2A~S2C)와 상이한 조건 하에서 실시하므로 세라믹막의 파울링(fouling) 현상을 보다 효과적으로 억제할 수 있다.

[0100] 제3 나노버블 포화단계(SC) 이후 압력계(52, 54)에서 측정되는 음압이 기설정된 임계압력에 도달하는 경우, 제어부(도시 안함)는 해당 시점에서 복합 나노버블 시스템(1)의 가동을 중단하고 나노버블장치(40)를 가동하여 원수탱크(10)에 수용된 원수 및 생산수탱크(30)에 수용된 생산수에 나노버블을 주입하도록 제어하여 제4 나노버블 포화단계(SD)를 진행한다. 제4 나노버블 포화단계(SD)는 제1 나노버블 포화단계(SA) 내지 제3 나노버블 포화단계(SC)와 동일한 방법에 의해 수행될 수 있다.

[0102] 제4 나노버블 포화단계(SD) 이후의 가동단계(S1D) 및 세척단계(S2D)는 원수탱크(10) 내의 원수 및 생산수탱크(30) 내의 생산수에 나노버블이 지속적으로 유입되는 상태에서 실시될 수 있다. 즉, 제4 나노버블 포화단계(SD) 이후 원수유입펌프(61), 원수유출펌프(62), 생산수유입펌프(64), 생산수유출펌프(65) 및 나노버블장치(40)의 가동이 유지되며, 원수유출라인밸브(113), 원수유입라인밸브(115), 생산수유입라인밸브(133) 및 생산수유출라인밸브(135)이 개방된 상태로 가동단계(S1D) 및 세척단계(S2D)를 반복 수행하며, 이와 같은 상태는 세라믹막의 수명이 다하여 새로운 세라믹막으로 교체될 때까지 지속될 수 있다.

[0104] 압력계(52, 54)에서 측정되는 음압이 -60kPa에 도달하는 경우 세라믹막의 수명이 종료된 것으로 판단하며, 전체 시스템의 가동을 중단하고 신규 세라믹막으로의 교체를 실시한다. 이후 전술한 방법을 반복하여 실시하여 산업폐수의 정화 처리를 수행할 수 있다.

[0106] 본 발명의 일 측면에 따른 산업폐수 처리방법은 나노버블을 원수 및 생산수에 선택적으로 주입하여 원수의 여과 및 생산수를 이용한 세라믹막의 역세를 실시하므로, 세라믹막의 파울링(fouling) 억제 효과를 효과적으로 향상시킬 수 있을 뿐만 아니라, 전력 소모가 많은 나노버블 장치의 운전 조건을 최적화하여 시스템 가동의 경제성을 효과적으로 향상시킬 수 있다.

[0108] 이상에서 실시예를 통하여 본 발명을 상세하게 설명하였으나, 이와 다른 형태의 실시예들도 가능하다. 그러므로, 이하에 기재된 청구항들의 기술적 사상과 범위는 실시예들에 한정되지 않는다.

부호의 설명

[0109] 1: 복합 나노버블 시스템 10: 원수탱크 20: 세라믹 침지조

30: 생산수탱크 40: 나노버블장치

도면

도면1

