



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2020년12월18일
(11) 등록번호 10-2193198
(24) 등록일자 2020년12월14일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G01N 21/31 (2006.01) C02F 1/72 (2006.01)
G01N 31/22 (2006.01) G01N 33/18 (2006.01)

(52) CPC특허분류

G01N 21/31 (2013.01)
C02F 1/72 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2019-0055910

(22) 출원일자 2019년05월13일

심사청구일자 2019년05월13일

(65) 공개번호 10-2020-0131100

(43) 공개일자 2020년11월23일

(56) 선행기술조사문헌

KR1020040030701 A*

KR1020150069198 A*

KR1020180022331 A

KR1020100003553 A

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

한국산업기술시험원

경상남도 진주시 충의로 10(충무공동)

연세대학교 산학협력단

서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)

주식회사 알이디

경기도 고양시 일산동구 건달산로225번길 45-73 (식사동)

(72) 발명자

박찬규

서울특별시 관악구 은천로 93, 201동 507호(봉천동, 벽산블루밍아파트)

여인설

경기도 과천시 장군마을4길 6-26, 202호(주암동, 그린미아)

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

박정우, 이장훈

전체 청구항 수 : 총 17 항

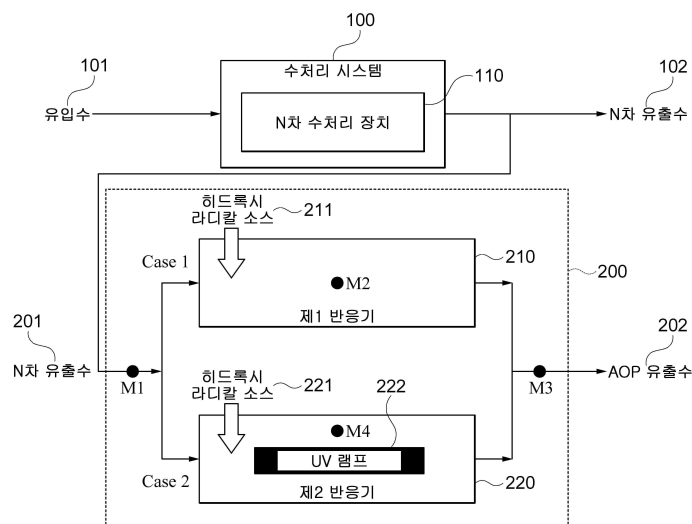
심사관 : 장일석

(54) 발명의 명칭 물 재이용을 위한 고도산화공정 성능 평가 방법 및 장치

(57) 요약

본 명세서에서는 물 재이용을 위한 고도산화처리 시스템의 성능평가 방법에 있어서, 산화제와 유입수가 반응기로 혼입되는 단계; 상기 반응기에서 상기 유입수에 혼입된 산화제로부터 히드록실 라디칼을 생성하는 단계; 및 상기 반응기에서 생성된 히드록실 라디칼의 발생량을 측정하는 단계를 포함하고, 상기 히드록실 라디칼의 발생량은 탐지물질을 이용하여 측정되는 성능 평가 방법을 개시한다.

대표도



(52) CPC특허분류

G01N 31/22 (2013.01)

G01N 33/18 (2019.01)

C02F 2209/005 (2013.01)

C02F 2305/023 (2013.01)

(72) 발명자

이창규

경기도 파주시 책향기로 183, 1508동 1301호(동패동, 책향기마을 파주교하 상록테시앙)

김형일

대전광역시 유성구 가정로 65, 109동 905호(신성동, 대림두레아파트)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	10080008
부처명	산업통상자원부
과제관리(전문)기관명	한국산업기술평가관리원
연구사업명	국가표준기술력향상사업
연구과제명	물재이용을 위한 고도산화공정(AOP) 성능시험방법 표준 개발
기 여 율	1/1
과제수행기관명	한국산업기술시험원
연구기간	2017.06.01 ~ 2020.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

물 재이용을 위한 고도산화처리 시스템의 성능 평가를 위해 성능 평가 장치에서 수행되는 성능평가 방법에 있어서,

수처리 시스템을 통해 수처리 된 유입수와 산화제가 반응기로 혼입되는 단계;

상기 반응기에서 상기 유입수에 혼입된 산화제로부터 히드록실 라디칼을 생성하거나 또는 상기 유입수에 혼입된 산화제와 자외선을 사용하여 히드록실 라디칼을 생성하는 단계; 및

상기 반응기에서 생성된 히드록실 라디칼의 발생량을 측정하기 위해 상기 히드록실 라디칼에만 반응하는 탐지물질을 투입하는 단계를 포함하는 성능 평가 방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 히드록실 라디칼의 발생량은 상기 반응기에서 상기 탐지물질과 상기 히드록실 라디칼이 반응한 결과에 따라 생성된 생성물질의 농도로 측정되는 성능 평가 방법.

청구항 3

제 2 항에 있어서,

상기 탐지물질과 상기 히드록실 라디칼이 반응한 결과에 따라 생성된 생성물질은 상기 탐지물질보다 히드록실 라디칼과의 낮은 반응성을 가지는 성능 평가 방법.

청구항 4

제 2 항에 있어서,

상기 탐지물질과 상기 히드록실 라디칼이 반응한 결과에 따라 생성된 생성물질은 조사된 빛보다 긴 파장의 빛을 방출하며,

상기 탐지물질이 방출하는 빛의 파장은 가시광선의 파장 범위에 속하는 성능 평가 방법.

청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 히드록실 라디칼의 발생량은 상기 반응기 내 물질을 전자스핀 공명 분석 또는 형광 분석함으로써 측정되는 성능 평가 방법.

청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 탐지물질은 히드록실 라디칼과는 반응을 일으키며, 상기 유입수에 포함된 상기 탐지물질 외의 다른 구성

성분과는 반응을 일으키지 않는 물질인 성능 평가 방법.

청구항 7

제 1 항에 있어서,

상기 탐지 물질은 Terephthalic acid, 5,5-dimethyl-1-pyrroline-1-oxide, Coumarin, Coumarin-3-carboxylic acid, benzene 및 Phenyl-tert-butyl nitron 중 어느 하나인 성능 평가 방법.

청구항 8

제 1 항에 있어서,

상기 탐지 물질로 Terephthalic acid, Coumarin, Coumarin-3-carboxylic acid, benzene 및 Phenyl-tert-butyl nitron 중 어느 하나가 사용되는 경우, 상기 히드록실 라디칼의 발생량은 상기 반응기 내 물질을 형광 분석함으로써 측정되는 성능 평가 방법.

청구항 9

제 1 항에 있어서,

상기 탐지 물질로 5,5-dimethyl-1-pyrroline-1-oxide, Phenyl-tert-butyl nitron 중 어느 하나가 사용되는 경우, 상기 히드록실 라디칼의 발생량은 상기 반응기 내 물질을 전자스핀 공명 분석함으로써 측정되는 성능 평가 방법.

청구항 10

제 1 항에 있어서,

상기 탐지물질은 유입수에 혼입되어 상기 반응기로 유입되는 성능 평가 방법.

청구항 11

물 재이용을 위한 고도산화처리 시스템의 성능 평가를 위해 성능 평가 장치에서 수행되는 성능평가 방법에 있어서,

산화제와 유입수가 반응기로 혼입되는 단계;

상기 반응기에서 상기 유입수에 혼입된 산화제로부터 히드록실 라디칼을 생성하는 단계;

상기 히드록실 라디칼과 상기 유입수를 일정시간 반응시키는 단계; 및

상기 고도산화처리 시스템의 에너지 비용을 산출하는 단계를 포함하고,

상기 에너지 비용은 상기 반응기에서 상기 히드록실 라디칼과 반응된 물의 부피, 상기 유입수의 오염물질 저감 비율, 상기 반응기에서 상기 히드록실 라디칼과 물이 반응한 시간 및 상기 반응기에서 소비된 전력량에 기반하여 계산되는 성능 평가 방법.

청구항 12

제 11 항에 있어서,

$$E_{EO} = \frac{P \times t \times 1000}{V \times \lg\left(\frac{c_i}{c_f}\right)}$$

상기 에너지 비용(E_{EO})은 로 계산되며,

여기서, P는 고도산화처리 시스템의 정격 출력을 나타내고, V는 재처리된 물의 부피를 나타내고, t는 오염물질의 농도를 한개의 규모단위로 낮추기 위해서 요구되는 시간이고, c_i 는 유입수의 오염물질 농도를 나타내며, c_f 는 배출수의 오염물질 농도를 나타내는 성능 평가 방법.

청구항 13

제 11 항에 있어서,

상기 산출된 에너지 비용에 기반하여 상기 고도산화처리 시스템의 생애주기비용을 계산하는 단계를 더 포함하는 성능 평가 방법.

청구항 14

고도산화처리 시스템의 성능 평가 장치에 있어서,

수처리 시스템을 통해 수처리 된 유입수와 산화제를 통해 히드록실 라디칼이 생성되는 제1 반응기;

상기 유입수와 상기 산화제 및 자외선을 통해 히드록실 라디칼이 생성되는 제2 반응기;

상기 제1 반응기 또는 상기 제2 반응기에 상기 산화제와 유입수를 유입하기 위한 유입 관로; 및

상기 제1 반응기 또는 제2 반응기에서 생성된 히드록실 라디칼의 발생량을 측정하는 측정기를 포함하고,

상기 히드록실 라디칼의 발생량은 탐지물질을 이용하여 측정되는 성능 평가 장치.

청구항 15

고도산화처리 시스템의 성능 평가 장치에 있어서,

유입수와 히드록실 라디칼이 반응을 일으키는 반응기;

상기 반응기에 산화제와 유입수를 유입하기 위한 유입 관로; 및

에너지 비용을 산출하는 측정기를 포함하고,

상기 에너지 비용은 상기 반응기에서 상기 히드록실 라디칼과 반응된 물의 부피, 상기 유입수의 오염물질 저감 비율, 상기 반응기에서 상기 히드록실 라디칼과 물이 반응한 시간 및 상기 반응기에서 소비된 전력량에 기반하여 계산되는 성능 평가 장치.

청구항 16

제 1 항 내지 제 13 항 중 어느 한 항의 고도산화처리 시스템의 성능 평가 방법을 컴퓨터에서 실행시키기 위한 프로그램을 기록한 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록 매체.

청구항 17

제 1 항 내지 제 13 항 중 어느 한 항의 고도산화처리 시스템의 성능 평가 방법을 컴퓨터에서 실행시키기 위하여 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록 매체에 저장된 컴퓨터 프로그램.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 고도산화처리 시스템의 성능평가를 수행하는 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 생물학적 수처리나 막여과법과 같은 일반적인 처리 방법으로는 물 재이용 시 잔류 미세 오염물질들의 제거가 어렵다. 고도산화처리 방법은 이러한 미세 오염물질들을 제거하는 데 매우 효과적인 제거성능을 보인다.

[0003] 고도산화처리 공정에 대한 연구가 활발히 진행되고 있고, 대한민국 등록특허공보 제10-2005-0073527호에 개시된 바와 같이 다양한 공법들이 존재하고 있다. 고도산화처리 공정의 성능 비교에 대한 필요성이 대두되고 있으나 이에 대한 직접적인 해결책은 제시되고 있지 않다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004] 본 발명은 상술한 문제점을 해결하기 위해 안출된 것으로, 고도산화처리 공정의 성능 비교를 위한 해결책을 제시하기 위한 것이다.

과제의 해결 수단

[0005] 상술한 목적을 달성하기 위해 본 발명의 일 실시 예에 따른 성능 평가 장치에서 수행되는 물 재이용을 위한 고도산화처리 시스템 성능평가 방법은, 산화제와 유입수가 반응기로 혼입되는 단계; 상기 반응기에서 상기 유입수에 혼입된 산화제로부터 히드록실 라디칼을 생성하는 단계; 및 상기 반응기에서 생성된 히드록실 라디칼의 발생량을 측정하는 단계를 포함한다. 상기 히드록실 라디칼의 발생량은 탐지물질을 이용하여 측정될 수 있다.

[0006] 상기 히드록실 라디칼의 발생량은 상기 반응기에서 상기 탐지물질과 상기 히드록실 라디칼이 반응한 결과에 따라 생성된 생성물질의 농도로 측정될 수 있다.

[0007] 상기 탐지물질과 상기 히드록실 라디칼이 반응한 결과에 따라 생성된 생성물질은 조사된 빛보다 긴 파장의 빛을 방출하며, 상기 탐지물질이 방출하는 빛의 파장은 가시광선의 파장 범위에 속할 수 있다.

[0008] 상기 탐지물질과 상기 히드록실 라디칼이 반응한 결과에 따라 생성된 생성물질은 조사된 빛보다 긴 파장의 빛을 방출하며, 상기 탐지물질이 방출하는 빛의 파장은 가시광선의 파장 범위에 속할 수 있다.

[0009] 상기 히드록실 라디칼의 발생량은 상기 반응기 내 물질을 전자스핀 공명 분석 또는 형광 분석함으로써 측정될 수 있다.

[0010] 상기 탐지물질은 히드록실 라디칼과는 반응을 일으키며, 상기 유입수에 포함된 상기 탐지물질 외의 다른 구성성분과는 반응을 일으키지 않는 물질일 수 있다.

[0011] 상기 탐지 물질은 Terephthalic acid, 5,5-dimethyl-1-pyrroline-1-oxide, Coumarin, Coumarin-3-carboxylic acid, benzene 및 Phenyl-tert-butyl nitron 중 어느 하나일 수 있다.

[0012] 상기 탐지 물질로 Terephthalic acid, Coumarin, Coumarin-3-carboxylic acid, benzene 및 Phenyl-tert-butyl nitron 중 어느 하나가 사용되는 경우, 상기 히드록실 라디칼의 발생량은 상기 반응기 내 물질을 형광 분석함으로써 측정될 수 있다.

[0013] 상기 탐지 물질로 5,5-dimethyl-1-pyrroline-1-oxide, Phenyl-tert-butyl nitron 중 어느 하나가 사용되는 경우, 상기 히드록실 라디칼의 발생량은 상기 반응기 내 물질을 전자스핀 공명 분석함으로써 측정될 수 있다. 상기 탐지물질은 유입수에 혼입되어 상기 반응기로 유입될 수 있다.

[0014] 또한, 성능 평가 장치에서 수행되는 물 재이용을 위한 고도산화처리 시스템 성능평가 방법은 산화제와 유입수가 반응기로 혼입되는 단계; 상기 반응기에서 상기 유입수에 혼입된 산화제로부터 히드록실 라디칼을 생성하는 단계; 상기 히드록실 라디칼과 상기 유입수를 일정시간 반응시키는 단계; 및 상기 고도산화처리 시스템의 에너지

비용을 산출하는 단계를 포함한다. 상기 에너지 비용은 상기 반응기에서 상기 히드록실 라디칼과 반응된 물의 부피, 상기 유입수의 오염물질 저감 비율, 상기 반응기에서 상기 히드록실 라디칼과 물이 반응한 시간 및 상기 반응기에서 소비된 전력량에 기반하여 계산될 수 있다.

$$E_{EO} = \frac{P \times t \times 1000}{V \times \lg\left(\frac{c_i}{c_f}\right)}$$

[0015] 상기 에너지 비용(E_{EO})은 로 계산될 수 있다. 여기서, P는 고도산화처리 시스템의 정격 출력을 나타내고, V는 재처리된 물의 부피를 나타내고, t는 오염물질의 농도를 한개의 규모단위로 낮추기 위해서 요구되는 시간이고, c_i 는 유입수의 오염물질 농도를 나타내며, c_f 는 배출수의 오염물질 농도를 나타낸다.

[0016] 또한, 성능 평가 장치에서 수행되는 물 재이용을 위한 고도산화처리 시스템 성능평가 방법은 상기 산출된 에너지 비용에 기반하여 상기 고도산화처리 시스템의 생애주기비용을 계산할 수 있다.

[0017] 또한, 고도산화처리 시스템의 성능 평가 장치는, 유입수와 히드록실 라디칼이 반응을 일으키는 반응기; 상기 반응기에 산화제와 유입수를 유입하기 위한 유입 관로; 및 상기 반응기에서 생성된 히드록실 라디칼의 발생량을 측정하는 측정기를 포함한다. 상기 히드록실 라디칼의 발생량은 탐지물질을 이용하여 측정될 수 있다.

[0018] 또한, 고도산화처리 시스템의 성능 평가 장치는, 유입수와 히드록실 라디칼이 반응을 일으키는 반응기; 상기 반응기에 산화제와 유입수를 유입하기 위한 유입 관로; 및 에너지 비용을 산출하는 측정기를 포함한다. 상기 에너지 비용은 상기 반응기에서 상기 히드록실 라디칼과 반응된 물의 부피, 상기 유입수의 오염물질 저감 비율, 상기 반응기에서 상기 히드록실 라디칼과 물이 반응한 시간 및 상기 반응기에서 소비된 전력량에 기반하여 계산될 수 있다.

[0019] 또한, 앞서 제시된 성능 평가 방법을 상기 성능 평가 장치에서 실행시키기 위한 프로그램을 기록한 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록 매체를 구현할 수 있다.

[0020] 또한, 앞서 제시된 성능 평가 방법을 상기 성능 평가 장치에서 실행시키기 위하여 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록 매체에 저장된 컴퓨터 프로그램을 구현할 수 있다.

발명의 효과

[0021] 본 발명은 고도산화처리 공정의 성능에 대한 비교 지표를 제시하고, 비교 지표에 따라 고도산화처리 공정의 성능분석결과를 제시하며, 수처리장치에 적절한 고도산화처리 공정을 고도산화처리 설비의 에너지 소비 성능에 기초하여 쉽게 선택할 수 있게 하는 효과를 제공한다.

도면의 간단한 설명

[0022] 도 1은 일 실시예에 따른 고도산화처리 시스템의 블록도이다.

도 2는 오존과 과산화 수소를 접촉시켜 유입수를 고도산화처리하기 위한 O_3/H_2O_2 반응기의 블록도이다.

도 3은 과산화수소와 자외선을 사용하여 고도산화처리를 수행하는 H_2O_2/UV 반응기의 블록도이다.

도 4는 오존과 자외선을 사용하여 고도산화처리를 수행하는 O_3/UV 반응기의 블록도이다.

도 5는 고도산화처리 시스템의 성능을 평가하는 성능평가장치의 블록도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0023] 이하의 내용은 단지 발명의 원리를 예시한다. 그러므로 당업자는 비록 본 명세서에 명확히 설명되거나 도시되지 않았지만 발명의 원리를 구현하고 발명의 개념과 범위에 포함된 다양한 장치를 발명할 수 있는 것이다. 또한, 본 명세서에 열거된 모든 조건부 용어 및 실시 예들은 원칙적으로, 발명의 개념이 이해되도록 하기 위한 목적으로만 명백히 의도되고, 이와같이 특별히 열거된 실시 예들 및 상태들에 제한적이지 않는 것으로 이해되어야 한다.

- [0024] 상술한 목적, 특징 및 장점은 첨부된 도면과 관련한 다음의 상세한 설명을 통하여 보다 분명해 질 것이며, 그에 따라 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자가 발명의 기술적 사상을 용이하게 실시할 수 있을 것이다.
- [0025] 또한, 발명을 설명함에 있어서 발명과 관련된 공지 기술에 대한 구체적인 설명이 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에 그 상세한 설명을 생략하기로 한다. 이하에는 첨부한 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시 예에 대해 상세하게 설명한다.
- [0027] 한편, 명세서 및 청구범위에서 "제 1", "제 2", "제 3" 및 "제 4" 등의 용어는, 만약 있는 경우, 유사한 구성요소 사이의 구분을 위해 사용되며, 반드시 그렇지는 않지만 특정 순차 또는 발생 순서를 기술하기 위해 사용된다. 그와 같이 사용되는 용어는 여기에 기술된 본 발명의 실시예가, 예컨대, 여기에 도시 또는 설명된 것이 아닌 다른 시퀀스로 동작할 수 있도록 적절한 환경하에서 호환 가능한 것이 이해될 것이다. 마찬가지로, 여기서 방법이 일련의 단계를 포함하는 것으로 기술되는 경우, 여기에 제시된 그러한 단계의 순서는 반드시 그러한 단계가 실행될 수 있는 순서인 것은 아니며, 임의의 기술된 단계는 생략될 수 있고/있거나 여기에 기술되지 않은 임의의 다른 단계가 그 방법에 부가 가능할 것이다.
- [0028] 또한 명세서 및 청구범위의 "왼쪽", "오른쪽", "앞", "뒤", "상부", "바닥", "위에", "아래에" 등의 용어는, 설명을 위해 사용되는 것이며, 반드시 불변의 상대적 위치를 기술하기 위한 것은 아니다. 그와 같이 사용되는 용어는 여기에 기술된 본 발명의 실시예가, 예컨대, 여기에 도시 또는 설명된 것이 아닌 다른 방향으로 동작할 수 있도록 적절한 환경하에서 호환 가능한 것이 이해될 것이다. 여기서 사용된 용어 "연결된"은 전기적 또는 비 전기적 방식으로 직접 또는 간접적으로 접속되는 것으로 정의된다. 여기서 서로 "인접하는" 것으로 기술된 대상은, 그 문구가 사용되는 문맥에 대해 적절하게, 서로 물리적으로 접촉하거나, 서로 근접하거나, 서로 동일한 일반적 범위 또는 영역에 있는 것일 수 있다. 여기서 "일 실시예에서"라는 문구의 존재는 반드시 그런 것은 아니지만 동일한 실시예를 의미한다.
- [0029] 또한 명세서 및 청구범위에서 '연결된다', '연결하는', '체결된다', '체결하는', '결합된다', '결합하는' 등과 이런 표현의 다양한 변형들의 지칭은 다른 구성요소와 직접적으로 연결되거나 다른 구성요소를 통해 간접적으로 연결되는 것을 포함하는 의미로 사용된다.
- [0030] 또한, 본 명세서에서 사용되는 구성요소에 대한 접미사 "시스템", "장치", "모듈" 및 "부"는 명세서 작성의 용이함만이 고려되어 부여되거나 혼용되는 것으로서, 그 자체로 서로 구별되는 의미 또는 역할을 갖는 것은 아니다.
- [0031] 또한 본 명세서에서 사용된 용어들은 실시예를 설명하기 위한 것이며 본 발명을 제한하고자 하는 것은 아니다. 본 명세서에서, 단수형은 문구에서 특별히 언급하지 않는 한 복수형도 포함한다. 명세서에서 사용되는 '포함한다(comprise)' 및/또는 '포함하는(comprising)'은 언급된 구성요소, 단계, 동작 및/또는 소자는 하나 이상의 다른 구성요소, 단계, 동작 및/또는 소자의 존재 또는 추가를 배제하지 않는다.
- [0032] 이상의 설명은 본 발명의 기술 사상을 예시적으로 설명한 것에 불과한 것으로서, 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 본 발명의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위 내에서 다양한 수정, 변경 및 치환이 가능할 것이다.
- [0033] 따라서, 본 발명에 개시된 실시 예 및 첨부된 도면들은 본 발명의 기술 사상을 한정하기 위한 것이 아니라 설명하기 위한 것이고, 이러한 실시 예 및 첨부된 도면에 의하여 본 발명의 기술 사상의 범위가 한정되는 것은 아니다. 본 발명의 보호 범위는 아래의 청구 범위에 의하여 해석되어야 하며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 기술 사상은 본 발명의 권리 범위에 포함되는 것으로 해석되어야 할 것이다.
- [0035] 고도산화처리(AOP, Advanced Oxidation Process)란 수처리 목적으로 히드록실 라디칼을 산화제로 사용하는 공정을 의미한다. 고도산화처리 시스템은 오존, 과산화수소, UV의 조합을 통한 시스템 또는 강력한 산화제인 히드록실 라디칼($\cdot\text{OH}$)을 이용하여 수처리하는 시스템을 의미한다. 이 외에도, 생물학적 수처리나 막여과법으로 분해가 되지 않는 미량 난분해성 유기 오염물질 처리에 효과적이고 다양한 종류의 산화시스템이 AOP로 정의될 수 있다.
- [0036] 히드록실 라디칼($\cdot\text{OH}$)은 비대칭 전자를 가진 수산화 이온(OH^-)으로 강력한 비선택적 산화제로서 대부분의 유기 화합물에 빠르게 적용된다. 히드록시 라디칼은 다른 산화제들보다 산화력이 매우 뛰어나지만, 강력한 반응성 때문에 지속 시간이 매우 짧고 선택성이 없다는 단점을 가지고 있다. 생성된 히드록실 라디칼의 양은 발생기에 의

해 단위 시간 당 생성된 히드록실 라디칼의 양을 의미하고, 히드록실 라디칼의 농도는 액체의 단위 부피 중 존재하는 히드록실 라디칼의 물수를 의미한다.

- [0037] 고도산화처리 시스템을 사용하여 분해하고자 하는 물질들 중 대표적인 물질들을 통틀어 잔류성 유기 오염물질(POPs, Persistent Organic Pollutants)이라고 부른다. 잔류성 유기 오염물질은 크게 살충제, 공업용 화학물질(industrial chemicals), 부산물(by-products)로 구분할 수 있다. 자연 분해되지 않고 오랜 시간 환경에 잔류하는 특성을 가지는 유해한 물질로 대표적인 POPs로는 aldrin, chlordane, DDT(dichlor-diphenyl-tichloroethane), dieldrin, endrin, heptachlor, hexachlorobenzene, mirex, toxaphene, PCBs, dioxins, furans 등이 있다.
- [0039] 도 1은 일 실시예에 따른 고도산화처리 시스템(200)을 도시하는 블록도이다. 일 실시 예에 따른 고도산화처리 시스템(200)은 수처리 시스템(100)을 통해 수처리된 물의 수질을 더욱 향상시키기 위해 사용될 수 있다. 예를 들어, 고도산화처리 시스템은 3차처리된 물의 수질을 더욱 향상시키기 위해 사용될 수 있으며, 3차처리된 물의 잔류성 유기 오염 물질을 제거함으로써 수질을 더욱 개선할 수 있다.
- [0040] 도 1을 참조하면, 수처리시스템(100)에 관로를 통해 유입된 유입수(101)는 적어도 하나의 수처리장치(110)를 통해 수처리되고, 관로를 통해 유출수(102)로 배출된다. 수처리장치(110)에서 배출된 유출수(102)는 고도산화처리 시스템(200)의 유입수로써 관로를 통해 유입될 수 있다(201). 고도산화처리 시스템(200)은 적어도 하나의 반응기를 포함할 수 있다. 도 1에는 발명의 설명을 위해 자외선 램프가 구비되지 않은 제 1 반응기(210)와 자외선 램프(222)가 구비된 제 2 반응기(220)가 도시되어 있다. 고도산화처리 시스템에서 수처리된 물은 관로를 통해 유출수(202)로 배출된다.
- [0042] 고도산화처리 시스템(200)은 고도산화 처리 방법으로 화학적 산화제와의 결합을 이용할 수 있다. 또는 고도산화처리 시스템(200)은 고도산화 처리 방법으로 화학적 산화제와 함께 자외선을 이용할 수도 있다.
- [0043] 제 1 반응기(210)는 자외선 없이 화학적 산화제를 이용하여 잔류성 유기 오염물질을 제거하는 예를 도시한다. 오존이 과산화수소가 용해된 유입수에 부가되면 아래의 반응식에 따라 히드록실 라디칼과 수퍼옥사이드 음이온 라디칼($O_2 \cdot^-$)이 생성된다.
- [0044] [반응식 1]
- [0045] $H_2O_2 + 2O_3 \rightarrow 2HO \cdot + 3O_2 \cdot^-$
- [0046] 이러한 라디칼 결과물은 오존보다 잔류성 유기 오염물질을 효과적으로 제거할 수 있다. 과산화수소의 부가로 오존의 분해가 개시될 수 있으며, 이에 따라 히드록실 라디칼이 생성될 수 있다. 이러한 반응은 자외선을 필요로 하지 않기 때문에 자외선 투과율이 낮은 원수를 처리하는 데 사용할 수 있다.
- [0047] 오존과 과산화수소의 접촉을 위해 연속 교반식 탱크 반응기(continuously stirred tank reactor) 또는 관형 흐름 반응기(plug flow reactor)를 이용할 수 있다. 도 2는 오존과 과산화 수소를 접촉시켜 유입수를 고도산화처리하기 위한 O_3/H_2O_2 반응기의 일 예를 도시한다. O_3/H_2O_2 반응기는 접촉기(310)와 산소 저장 탱크(320), 오존 생성기를 포함하는 오존 주입 시스템(330) 및 과산화수소 저장 탱크를 포함하는 과산화수소 주입 시스템(340)로 구성될 수 있다.
- [0049] 다시 도 1을 참조하여 설명한다. 제 2 반응기(220)는 화학적 산화제와 함께 자외선을 사용하여 고도산화처리를 수행하는 반응기를 도시한다. 제 2 반응기는 화학적 산화제로 과산화수소나 오존을 사용할 수 있다.
- [0050] 도 3은 과산화수소와 자외선을 사용하여 고도산화처리를 수행하는 H_2O_2/UV 반응기를 도시한다. H_2O_2/UV 반응기는 반응기 내에 자외선을 방출하기 위한 UV램프(420)와 UV램프(420)에 전원을 제공하기 위한 전원부(410)를 포함하여 구성된다. 그외에도, H_2O_2/UV 반응기는 램프 클리닝 시스템, 과산화수소 저장 및 투입 시스템, 반응조, 인라인 믹서, 처리대상 유입수 공급펌프와 처리된 유출수의 배출 펌프 및 파이프 및 모니터링 시스템 등을 더 포함할 수 있다.
- [0051] H_2O_2/UV 반응기에는 과산화수소가 혼합된 유입수(401)가 유입된다. H_2O_2/UV 반응기내에서 과산화수소와 자외선의 반응에 따라 생성된 히드록실 라디칼은 유입수의 잔류성 유기 오염물질을 제거한다. H_2O_2/UV 반응기내에서 과산화수소와 자외선은 아래의 반응식에 따라 히드록실 라디칼을 생성하게 된다. 아래의 반응식에서 h 는 플랑크 상

수, v 는 자외선의 주파수를 나타낸다.

[0052] [반응식 2]

[0053] $H_2O_2 + h\nu \rightarrow 2(\cdot OH)$

[0054] H_2O_2 /UV 반응에서 과산화수소의 투입량, 자외선램프의 종류 및 자외선 방출 강도, 반응기 접촉 시간 및 pH/온도 컨트롤은 고도산화처리 효율을 높이기 위해 중요한 요소이다. 과산화수소는 단일 슬러그(slug)로 투입되거나 반응기의 여러 부분에서 투입될 수 있다. 반응기에 유입되는 물에 대하여 벤치 또는 파일럿 테스트를 통해 과산화수소의 최적 투입량이 결정이 결정됨이 바람직하다.

[0056] 도 4는 오존과 자외선을 사용하여 고도산화처리를 수행하는 O_3 /UV 반응기의 일 실시 예를 도시한다. 일 실시 예에서, O_3 /UV 반응기는 오존 발생기, 유입수(501)에 오존 가스(502)를 주입하기 위한 디퓨저(510), 유입수(501)에 오존가스(502)를 용해시키고 유입수로부터 기포를 제거하여 오존을 배출하는 혼합 및 탈기구(520), 자외선 램프(542)를 포함한 자외선 반응기(540)을 포함하여 구성될 수 있으며, 오존의 접촉에 의한 반응을 촉진하는 오존 접촉 반응기(530)를 더 포함할 수 있다. 오존발생기는 압축산소나 액화산소로부터 오존을 전기적으로 발생시킬 수 있다. O_3 /UV 반응기는 반응기에서 배출되는 오존을 제거하기 위해 촉매식 제거기와 같은 오존 제거 구성을 더 포함할 수 있다.

[0057] O_3 /UV 반응기는 자외선으로 물속에 있는 오존을 광분해하여 과산화수소를 생성한다. 그리고 과산화수소는 자외선에 의하여 광분해 되거나 오존과 반응하여 히드록실 라디칼을 생성한다. O_3 /UV 반응기에서 오염물질은 히드록실 라디칼에 의하여 분해제거되며, 더하여 수중에 존재하는 오존과 반응해서 분해되기도 한다.

[0059] 도 5는 고도산화처리 시스템(200)의 성능을 평가하는 성능평가장치(600)의 구성을 도시하는 블록도이다. 성능평가장치(600)는 성능평가장치의 제어와 고도산화처리 시스템의 성능을 분석하는 프로세서(610), 프로세서(610)가 고도산화처리 시스템의 성능을 분석하기 위하여 고도산화처리 시스템의 각 부분에서 데이터를 획득하는 측정부(620) 및 성능평가장치의 동작을 위한 프로그램데이터와 성능평가를 위한 기준 데이터가 저장되어 있고, 성능평가 결과 데이터 등이 저장되는 데이터저장소(630)를 포함하여 구성되며, 필요에 따라 사용자인터페이스와 각종 입출력부를 포함할 수 있다.

[0060] 이하, 성능평가장치(600)에 의하여 수행되는 고도산화처리 시스템(200)의 성능 분석 방법에 대하여 설명한다. 수처리된 물의 수질은 물을 재사용하기 위한 특정 목적에 맞는 수처리된 물의 품질 기준을 충족시켜야 한다. 품질 기준을 충족시키는지에 대한 직접적인 파라미터로서, 고도산화처리 시스템의 성능은 수질을 정기적으로 측정하여 평가되어야 한다

[0061] 이를 달성하기 위해, 성능평가장치(600)는 물이 고도산화처리되기 직전 지점인 유입구(M1)와 물이 고도산화처리된 직후 지점인 유출구(M3)지점에서 수질 파라미터들을 정기적으로 평가될 수 있다. 일 실시 예에서, 수질 파라미터는 고도산화처리 시스템의 제거효율(removal efficiency)로써 정의될 수 있으며 제거효율은 아래의 수식에 따라 계산될 수 있다.

수학식 1

제거효율 = $1 - \text{유출수구성농도} / \text{유입수구성농도}$

[0062]

[0063] 계산된 제거효율 값은 제거값의 로그함수(log removal value)로 변환되어 수질 파라미터로 사용될 수 있다.

수학식 2

$(\log \text{removal value}) = -\log_{10} 1 - (\text{removal efficiency})$

[0064]

[0065] 다른 일 실시 예에서, 보충적인 평가 방법으로, 성능평가장치(600)는 간접적인 수질 파라미터로써 히드록실 라디칼의 농도를 모니터링하는 것으로 고도산화처리 시스템의 성능을 평가할 수 있다. 히드록실 라디칼은 오염물

질을 산화시켜 분해하는 역할을 수행하는 점에서, 히드록실 라디칼을 많이 생성할수록 성능이 좋은 고도산화처리 공정이라 볼 수 있다.

[0066] 히드록실 라디칼은 반응성이 강하고 잔류 시간이 짧아서 농도를 직접 측정하기 어렵다. 이에 성능평가장치(600)는 특정 물질을 히드록실 라디칼과 반응을 시킨 결과를 분석하여 히드록실 라디칼의 양을 유추할 수 있다.

[0067] 예를들어, 성능평가장치(600)는 특정 물질이 히드록실 라디칼과 반응을 함으로써 생성되는 물질의 농도를 분석함으로써 히드록실 라디칼의 양을 측정할 수 있다. 성능평가장치(600)는 전자스핀 공명 분석과 형광 분석방법 등을 적용하여 히드록실 라디칼의 양을 유추할 수 있다. 전자스핀 공명 분석(Electro Spin Resonance, ESR)은 홀 전자(짝이 없는 전자)가 있는 경우 외부에서 자장을 주면 공명하는 성질을 이용한다. 공명이 일어나는 부분에는 에너지 흡수 피크(peak)가 나타난다. 피크가 나타나는 부분은 물질의 종류에 따라 일정하므로, ESR 분광법을 이용해 분석 대상 물질을 판별할 수 있다. 형광 분석(Fluorescence)은 빛을 흡수한 물질이 다시 빛을 방출하는 성질을 이용한다.

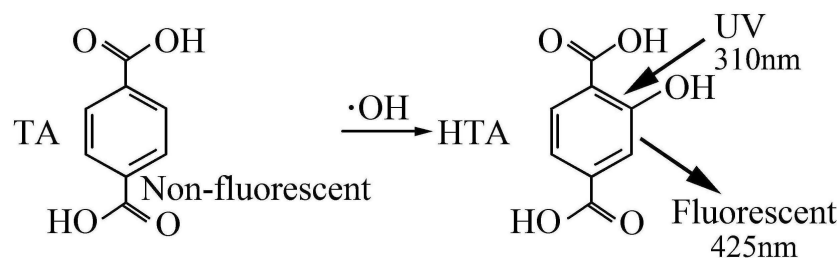
[0069] 성능평가장치(600)는 히드록실 라디칼이 생성되고 유입수의 오염원과 접촉하는 M2 지점과 M4 지점에서의 히드록실 라디칼의 농도를 측정함으로써 성능을 평가할 수 있다. 만약 적어도 하나의 수질평가 파라미터가 품질기준을 충족시키지 않는다면, 고도산화처리 시스템(200)은 요구되는 성능을 발휘하지 못하는 것으로 평가할 수 있다. 히드록실 라디칼의 생산량이 줄어들거나 물질 전달 효율이 저하된 것을 요구되는 성능을 발휘하지 못하는 원인으로 고려할 수 있다.

[0070] 고도산화처리 시스템(200)의 전 영역에서 히드록실 라디칼의 농도를 평가하는 것은 효율적이지 않을 수 있다. 이에, 히드록실 라디칼의 농도 평가는 모니터링 포인트에서 소량의 물을 샘플링 함으로써 수행될 수 있다.

[0072] 성능평가장치(600)는 히드록실 라디칼과 반응을 일으키는 탐지분자를 활용하여 히드록실 라디칼의 농도를 평가할 수 있다. 탐지분자는 히드록실 라디칼과는 반응을 일으키나 고도산화처리 시스템에 유입된 유입수의 성분들과는 반응을 일으키지 않는 분자들 중에서 선택될 수 있다. 탐지분자와 히드록실 라디칼의 반응에 의해 생성된 화학물질의 농도는 고도산화처리 시스템에서 발생하는 히드록실 라디칼 발생량을 평가하기 위한 지표로 활용될 수 있다.

[0074] 탐지분자를 활용하여 히드록실 라디칼의 농도를 검출하는 제 1 실시 예로, 히드록실 라디칼의 탐지분자로써 Terephthalic acid(TA)가 사용될 수 있다. 아래의 반응식과 같이 히드록실 라디칼은 TA와 반응하여 2-hydroxyterephthalic acid(HTA)를 생성한다.

[0075] [반응식 3]



[0076]

[0077] HTA는 형광 측정(fluorescence measurement) 방식으로 검출될 수 있다. TA와 HTA 분자를 포함하는 수용액에 UV 광($\lambda=310\text{nm}$)이 조사되면, TA 분자와 달리 HTA 분자는 $\lambda=425\text{nm}$ 파장의 빛을 방출한다.

[0079] 탐지분자를 활용하여 히드록실 라디칼의 농도를 검출하는 제 2 실시 예로, 히드록실 라디칼의 탐지분자로써 5,5-dimethyl-1-pyrroline-1-oxide(DMPO)가 사용될 수 있다. 아래의 반응식과 같이 DMPO는 히드록실 라디칼과 반응하여 DMPO-OH 어덕트(adduct)를 생성한다.

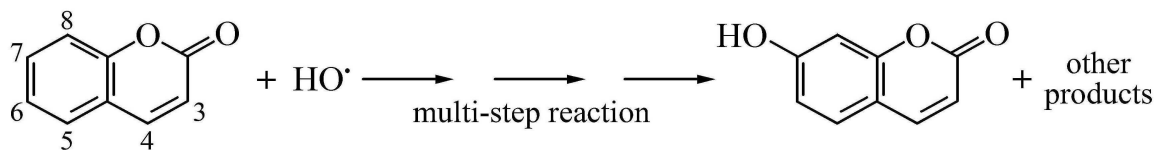
[0080] [반응식 4]

[0081] $\text{DMPO} + \cdot\text{OH} \rightarrow [\text{DMPO-OH}] \cdot$

[0082] DMPO를 활용하는 경우 DMPO-OH 어덕트의 ESR(electron spin resonance) 시그널을 분석함으로써 히드록실 라디칼의 농도를 판단할 수 있다. DMPO-OH 어덕트(adduct)의 ESR(electron spin resonance) 시그널이 감소되거나 소멸은 히드록실 라디칼이 제거되었음을 나타낸다.

[0084] 탐지분자를 활용하여 히드록실 라디칼의 농도를 검출하는 제 3 실시 예로, 히드록실 라디칼의 탐지분자로써 쿠마린(Coumarin)이 사용될 수 있다. 아래의 반응식과 같이 쿠마린은 히드록실 라디칼과 반응하여 형광성의 7-hydroxycoumarin(7OHC)을 생성한다.

[0085] [반응식 5]

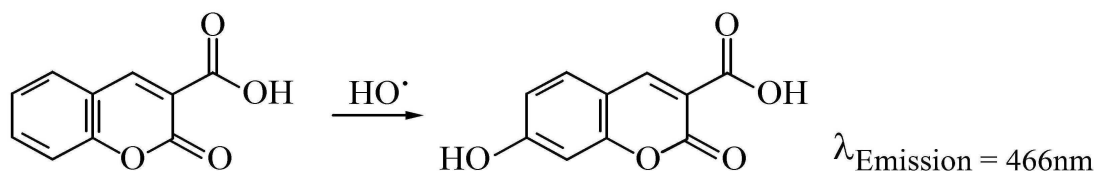


[0086]

[0087] 7OHC는 $\lambda = 456\text{nm}$ 인근의 가시성 파장을 가지는 빛을 형광 방출하는 점에서 탐지분자로서의 쿠마린의 장점이 존재한다.

[0089] 탐지분자를 활용하여 히드록실 라디칼의 농도를 검출하는 제 4 실시 예로, 히드록실 라디칼의 탐지분자로써 Coumarin-3-carboxylic acid(CCA)가 사용될 수 있다. 아래의 반응식과 같이 CCA는 히드록실 라디칼과 반응하여 7-hydroxycoumarin-3-carboxylic acid (7-OHCCA)를 생성하며, 7-OHCCA는 $\lambda = 446\text{nm}$ 인근의 가시성 파장을 가지는 빛을 방출하는 점에서 이점이 있다.

[0090] [반응식 6]



[0091]

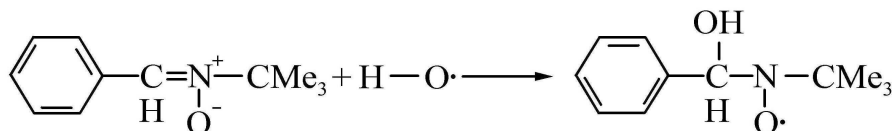
[0093] 탐지분자를 활용하여 히드록실 라디칼의 농도를 검출하는 제 5 실시 예로, 히드록실 라디칼의 탐지분자로써 벤젠(benzene)이 사용될 수 있다. 아래의 반응식과 같이 벤젠은 히드록실 라디칼과 반응하여 페놀(phenol)을 생성한다. 페놀을 검출함으로써 히드록실 라디칼의 농도를 측정할 수 있다.

[0094] [반응식 7]

[0095] $\cdot\text{OH} + \text{C}_6\text{H}_6 \rightarrow \text{C}_6\text{H}_5 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_5\text{OH}(\text{phenol}) + \text{H}$

[0096] 탐지분자를 활용하여 히드록실 라디칼의 농도를 검출하는 제 6 실시 예로, 히드록실 라디칼의 탐지분자로써 Phenyl-tert-butyl nitron(PBN)이 사용될 수 있다. 아래의 반응식과 같이 PBN은 히드록실 라디칼과 반응하여 PBN-OH·를 생성한다. PBN-OH·는 핑거프린트 ESR 시그널을 통해 검출될 수 있다.

[0097] [반응식 8]



[0098]

[0099] 앞서 설명한 바와 같이 고도산화처리 시스템의 성능을 평가하기 위해 히드록실 라디칼의 농도를 모니터링 하는 것은 필수적이다. 성능평가장치(600)는 고도산화처리 시스템의 히드록실 라디칼 생산 능력을 평가하기 위해 앞서 설명한 바와 같이 고도산화 처리 시스템에서 폐수의 고도산화처리가 진행중일 때 탐지 분자를 사용하여 히드록실 라디칼의 농도를 모니터링함으로써 현장평가(in-situ testing)를 수행할 수 있다.

[0100] 한편, 히드록실 라디칼은 수많은 유기복합체와 급격한 산화반응을 할 정도로 강한 산화 반응성을 가진 점에서 성능평가장치(600)에 의한 고도산화처리 시스템의 히드록실 라디칼 생산 능력 평가는 현장의 평가(ex-situ testing) 방식으로 평가될 수도 있다.

[0101] 현장의 평가는 실험실 환경에서 수행될 수 있다. 일 실시 예에서 실험실 환경은 탐지 분자만 존재하는 환경일 수 있다. 히드록실 라디칼의 생산 능력을 평가하기 위한 샘플들은 탐지분자만 존재하는 환경에서 평가될 수 있다. 특정된 반응시간이 경과된 후, 화학적 투입량 및/또는 자외선 투입량과의 상관적 요소로써 히드록실 라디칼

의 농도를 결정하기 위해 샘플이 분석될 수 있다.

[0102] 일 실시 예에서, 실험실 환경은 실제 고도산화처리 시스템의 실제 운용 환경을 모사한 환경일 수도 있다. 예를 들어, 고도산화처리 시스템의 운용중에 채취한 유입수를 이용한 실험실 환경 조건에서 히드록실 라디칼의 생산 능력을 평가할 수 있다.

[0104] 한편, 성능평가장치(600)는 고도산화처리 시스템(200)의 에너지 소비 성능을 평가할 수 있다. 고레벨의 잔류성 유기 오염물질을 재처리하는 경우 그의 농도를 낮추기 위해 더 많은 재처리와 산화단계를 거쳐야 하는 점에서 고도산화처리 시스템(200)은 더 많은 에너지를 소비하게 된다.

[0105] E_{EO} (Electrical energy per order)는 다양한 타입의 고도산화처리 방법을 에너지 소비와의 상관적 요소로서 비교하기 위한 평가 방법으로, 성능평가장치(600)는 아래의 수식에 기초하여 고도산화 시스템의 비용을 빠르게 결정할 수 있다.

수학식 3

$$E_{EO} = \frac{P \times t \times 1000}{V \times \lg\left(\frac{C_i}{C_f}\right)}$$

[0106]

[0107] 여기서, P는 고도산화처리 시스템의 정격 출력이다. V는 재처리된 물의 부피[L]이다. t는 오염물질의 농도를 한 개의 규모단위로 낮추기 위해서 요구되는 시간[h]이다. Lg는 10진 로그를 나타낸다. C_i 와 C_f 는 최초(또는 유입수) 및 최후(유출수)의 오염물질 농도[M 또는 mol L^{-1}]를 나타낸다.

[0108] E_{EO} 값에 영향을 미치는 다수의 파라미터들이 존재하기에, 고도산화처리 시스템들에서 성능평가장치(600)가 계산하는 E_{EO} 값은 다양하다. 자외선을 사용하는 케이스에서, 반응기의 디자인, 처리될 물의 수질, 오염물질의 특성, 자외선 램프의 유형 및 설계유량(design flow rate)와 같은 파라미터들이 사용될 수 있다. 이러한 요소들은 다른 유형의 고도산화처리 시스템과 비교될 때 고려되어야 한다.

[0110] 마지막으로, 성능평가장치(600)는 고도산화처리 시스템(200)의 생애주기비용(life cycle cost)을 분석할 수 있다. 생애주기비용은 자본비용과 운영비용으로 구성된다. 생애주기비용은 시스템의 구입, 설치 및 운영에 필요한 비용을 측정하여 분석된다. 운영비용에는 에너지 비용과 화학물 비용(chemical consumption)이 포함된다. 생애주기비용을 분석할 때, 에너지 비용은 앞서 설명된 E_{EO} 에 기반하여 계산될 수 있다. 예를들어, 에너지 비용은 E_{EO} 값에 일정 기간동안 재처리되어야 할 유입수의 부피와 오염물질의 농도를 낮추어야 하는 규모단위 수를 같이 연산함으로써 결정될 수 있다.

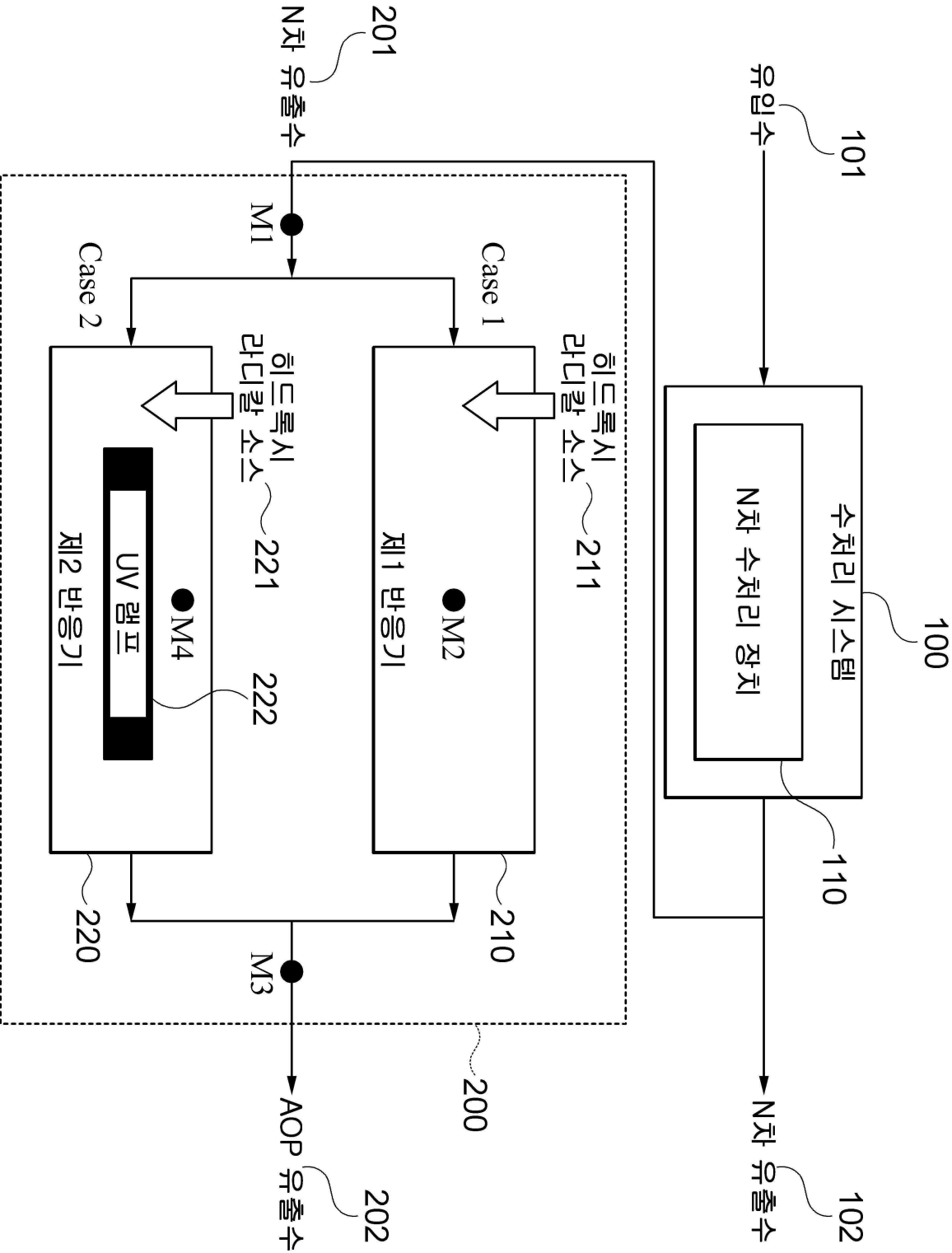
[0112] 앞서 설명된 일 실시 예에 따른 성능평가장치(600)의 고도산화처리 시스템(200) 성능평가 방법 및 생애주기비용 분석 방법은 다양한 컴퓨터 수단을 통하여 수행될 수 있는 프로그램 명령 형태로 구현되어 컴퓨터 판독 가능 매체에 기록될 수 있다. 상기 컴퓨터 판독 가능 매체는 프로그램 명령, 데이터 파일, 데이터 구조 등을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다. 상기 매체에 기록되는 프로그램 명령은 실시 예에 따라 특별히 설계되고 구성된 것들이거나 컴퓨터 소프트웨어 당업자에게 공지되어 사용 가능한 것일 수도 있다. 컴퓨터 판독 가능 기록 매체의 예에는 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체(magnetic media), CD-ROM, DVD와 같은 광 기록 매체(optical media), 플롭티컬 디스크(floptical disk)와 같은 자기-광 매체(magneto-optical media), 및 롬(ROM), 램(RAM), 플래시 메모리 등과 같은 프로그램 명령을 저장하고 수행하도록 특별히 구성된 하드웨어 장치가 포함된다. 프로그램 명령의 예에는 컴파일러에 의해 만들어지는 것과 같은 기계어 코드뿐만 아니라 인터프리터 등을 사용해서 컴퓨터에 의해서 실행될 수 있는 고급 언어 코드를 포함한다.

[0113] 앞선 실시예에 대한 설명에서 참조된 도면 각각은 설명의 편의를 위해 도시된 일 실시 예에 불과하며, 각 화면에 표시된 정보들의 항목, 내용과 이미지들은 다양한 형태로 변형되어 표시될 수 있다.

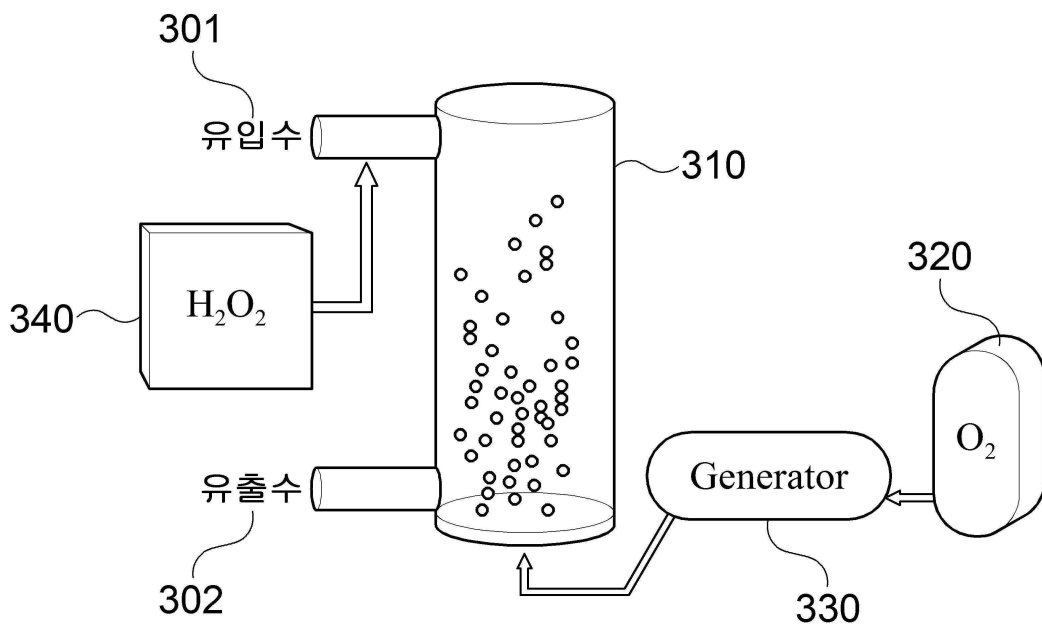
[0114] 본 발명은 도면에 도시된 일 실시 예를 참고로 설명되었으나 이는 예시적인 것에 불과하며, 본 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 타 실시 예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서, 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 등록청구범위의 기술적 사상에 의해 정해져야 할 것이다.

도면

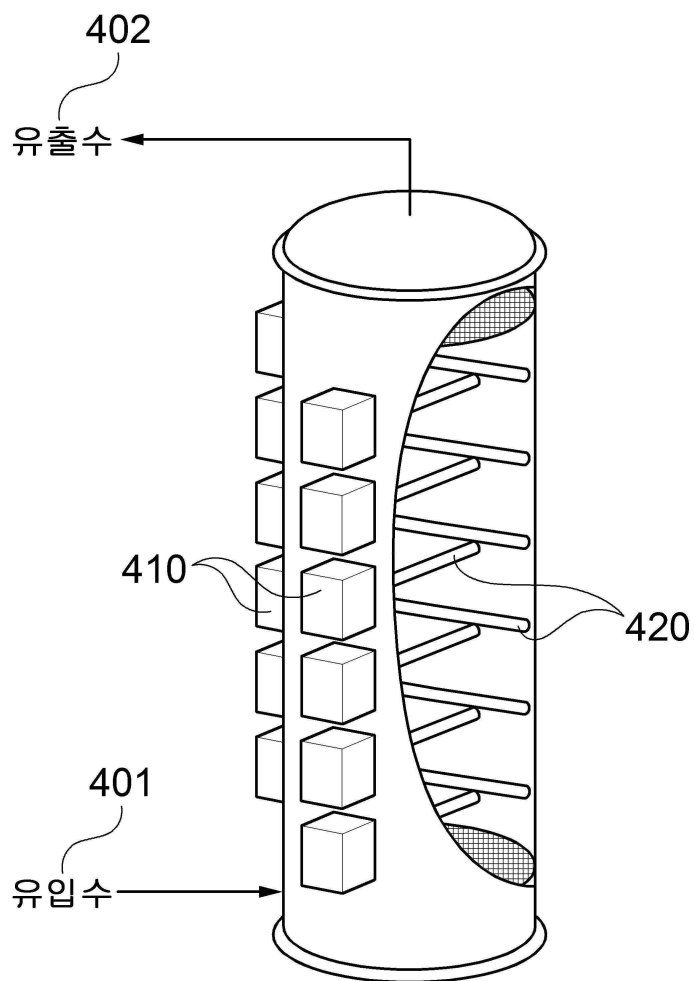
도면1



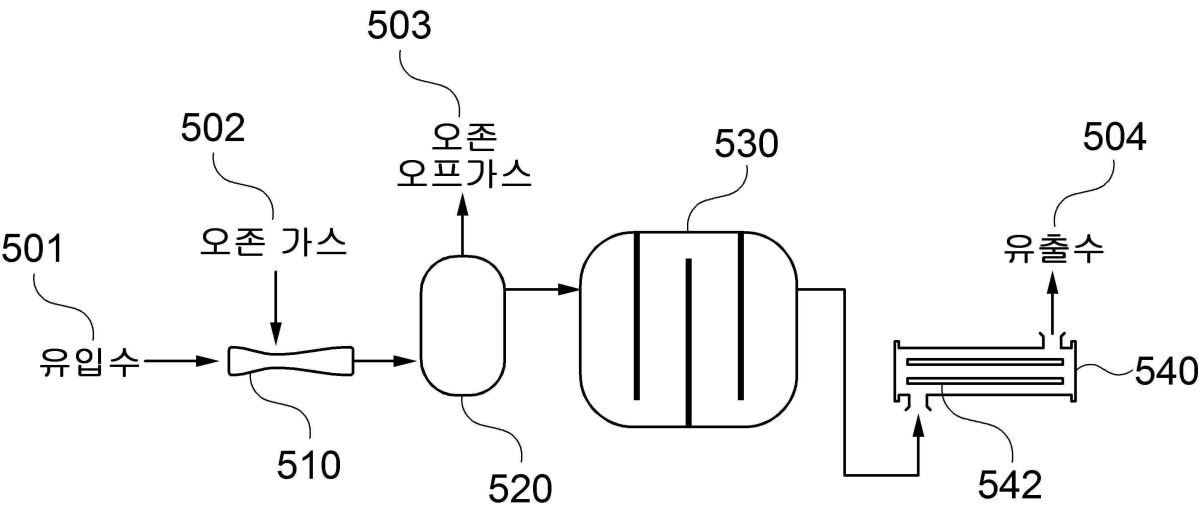
도면2



도면3



도면4



도면5

