

	(19) 대한민국특허청(KR) (12) 공개특허공보(A)	(11) 공개번호 (43) 공개일자	10-2012-0114908 2012년10월17일
(51) 국제특허분류(Int. Cl.)	C02F 1/36 (2006.01) C02F 1/30 (2006.01) C02F 1/58 (2006.01)	(71) 출원인	고려대학교 산학협력단 서울 성북구 안암동5가 1
(21) 출원번호	10-2011-0032742	(72) 발명자	김지형
(22) 출원일자	2011년04월08일		경기도 남양주시 와부읍 덕소로 180, 두산위브아파트 117동 1901호
심사청구일자	2011년04월08일		최명찬
			경기도 수원시 영통구 영통로290번길 25, 신나무실아파트 주공 5단지 510동 1201호 (영통동)
			(뒷면에 계속)
		(74) 대리인	한양특허법인

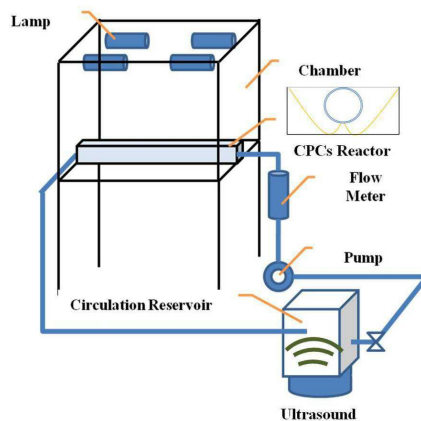
전체 청구항 수 : 총 7 항

(54) 발명의 명칭 초음파 결합형 태양광집중반응기를 이용한 수처리 방법 및 수처리 장치

(57) 요약

본 발명은 각종 폐수 속의 오염된 물질을 제거하기 위하여 초음파 발생기 및 태양광 집중반응기를 연속적으 결합하여 광촉매 처리 효율을 높이므로, 높은 폐수처리 효율을 가지는 수처리 방법 및 수처리 장치에 관한 것이다.

대표도 - 도1



(72) 발명자

나승민

서울특별시 도봉구 도봉2동 극동아파트 102-506

조상현

서울특별시 성북구 인촌로27길 40-5, 안암빌리지
107호 (안암동5가)

이세반

서울특별시 마포구 월드컵로8길 17-6 (서교동)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 20090092799

부처명 교육과학기술부

연구사업명 도약연구지원사업

연구과제명 파에너지를 이용한 고에너지 효율성의 micropollutants 처리기술 개발을 통한 수질관리 및
수자원 확보 전략

주관기관 고려대학교 산학협력단

연구기간 2010.09.01 ~ 2011.08.31

특허청구의 범위

청구항 1

폐수에 광촉매를 투입하는 단계;

상기 광촉매를 투입한 폐수에 초음파를 조사하는 초음파 처리 단계; 및

상기 초음파 처리한 후, 태양광 집중 반응기를 이용하여 태양광을 집광, 반사하여 상기 폐수에 조사하여 폐수 중의 오염물질을 분해하는 광촉매 처리 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 수 처리 방법.

청구항 2

청구항 1에 있어서, 상기 태양광 집중 반응기는 복합 파라볼라형 집광기 (CPCs)인 것을 특징으로 하는 수 처리 방법.

청구항 3

청구항 1에 있어서, 상기 광촉매의 주입량은 폐수 1L당 0.2 내지 1 g인 것을 특징을 하는 수 처리 방법.

청구항 4

청구항 1에 있어서, 상기 초음파의 주파수는 20 내지 1000 kHz인 것을 특징으로 하는 수 처리 방법.

청구항 5

청구항 1에 있어서, 상기 수 처리 방법은 태양광촉매 반응을 이용하여 폐수 중의 클로로폼을 제거하는 것을 특징으로 하는 수 처리 방법.

청구항 6

폐수를 저장하는 저장조;

상기 저장조에 결합된 초음파 발생기;

배관을 통하여 상기 저장조에 연결되며, 상기 폐수를 태양광 집중 반응기에 공급하는 수단인 순환펌프;

상기 배관 및 상기 순환펌프와 연결되고, 태양광을 집광, 반사하여 상기 폐수에 조사하는 태양광 집중 반응기; 및

상기 저장조에 연결되어 이산화티타늄 촉매를 공급하는 촉매 저장 탱크를 포함하는 수 처리 장치.

청구항 7

청구항 6에 있어서, 상기 태양광 집중 반응기는 복합 파라볼라형 집광기 (CPCs)인 것을 특징으로 하는 수 처리 장치.

명세서

기술 분야

[0001] 본 발명은 각종 폐수 속의 오염된 물질을 제거하기 위하여 초음파 발생기 및 태양광 집중반응기를 연속적으로 결합하여 광촉매 처리 효율을 높이므로, 높은 폐수처리 효율을 가지는 수처리 방법 및 수처리 장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 일반적으로, 산업이 발달함에 따라 고농도의 난분해성 폐수 발생량이 크게 증가하여 환경오염문제는 갈수록 심각해지고 있다. 따라서 오염물질에 대한 규제도 더욱 강화되고 있는 실정이다. 이러한 추세에 따라 난분해성 물질 등의 오염물질을 분해/제거하기 위해 물리적, 생물학적 및 화학적 방법이 다양하게 적용되고 있다. 그러

나 대 다수 종류의 유기물에 대해 분해효율이 낮고, 대부분 방법의 경우 많은 2차 부산물이 생성되는 등 효율적인 처리에 많은 어려움이 있다.

[0003] 종래의 폐수 중 오염물질의 제거방법으로는 활성탄을 이용한 흡착제거, 응집, 펜톤 등의 화학적 산화처리, 미생물을 이용한 생물학적 처리 등의 방법이 있다. 그러나 이러한 방법들은 근본적인 문제점을 지니고 있다. 즉, 활성탄과 같은 흡착제를 이용하는 흡착처리 방법에 있어서는 이 방법 자체에 의한 완전한 오염물질의 분해가 이루어지지 않을 뿐만 아니라 흡착된 오염물질의 제거를 위한 또 다른 2차 처리과정이 필요하게 된다. 그리고 화학적 산화처리에 있어서도 일반적으로 유기물질의 완전한 분해가 이루어지지 않거나, 다량의 침전 슬러지를 발생시키는 등의 2차 오염을 유발하게 된다. 또한 수처리에 널리 이용되고 있는 생물학적 처리에 있어서도 비교적 처리속도가 느리고 전체 반응계가 생물학적 활성을 나타낼 수 있는 처리조건이 까다롭다는 문제점 등을 나타내고 있다. 따라서 이러한 문제점들로 인하여 기존의 수처리 방법을 개선 또는 대체할 수 있는 새로운 수처리기술의 필요성이 증가하게 되었다.

[0004] 최근 새로운 오염물질 처리기술로서 크게 주목을 받고 있는 광촉매 반응을 이용한 수처리 방법은 수중에서 오염물질을 직접 분해·처리하는 공정이며, 온도, pH, 오염물질의 농도 등의 영향도 비교적 작게 받게 되므로 처리조건에 있어서도 제약이 거의 없다. 따라서 광촉매반응을 이용한 수처리기술을 이용하면 2차 오염물질의 생성 없이 유해 유기물질을 이산화탄소와 물 등으로 완전히 분해할 수 있다. 이러한 장점들로 인해 광촉매반응을 이용한 오염물질의 처리는 기존의 수처리기술을 대체할 수 있는 새로운 방법으로서 그 가능성이 매우 크다고 할 수 있다. 광촉매 중 가장 대표적인 것은 이산화티타늄(TiO_2)으로서, TiO_2 의 표면에 띠틈간격(band gap)보다 큰 에너지 즉, 400nm이하의 자외선을 조사하게 되면 가전자대(valance band)와 전도대(conduction band)에서 정공(h^+)과 전자(e^-)가 생성되며, 이때 생성된 전자와 정공은 광촉매 표면으로 이동하게 되고 전도대의 전자들은 중금속 이온(Mx^+) 및 산소(O_2)를 전기화학적으로 흡착한 후 중금속 이온을 광환원시키거나, 슈퍼옥사이드 라디칼(superoxide radical)을 생성하게 되며, 슈퍼옥사이드 라디칼은 직접 유기물질을 분해하거나 OH 라디칼을 생성한다. 또한 가전자대의 양공은 물분자와 반응하여 OH 라디칼을 생성하여, 광촉매 입자 표면에 흡착되어 있는 유기물을 산화시키게 된다.

[0005] 광촉매의 효율을 개선하기 위한 방법으로는, 우선 비표면적을 크게 해줄 수 있는 다양한 광촉매 제조 기술, 전자와 친화력이 강한 백금과 같은 비금속의 첨가, 그리고 산화 환원 반응을 선택적으로 유발시키기 위한 다른 메탈옥사이드의 첨가 등을 들 수 있다.

[0006] 그러나, 광촉매 반응을 적용한 오염물질 처리시, 가장 큰 제한 요소로 적용하는 것 중 하나는 광촉매 반응을 유발하기 위하여 자외선 램프를 광원으로 사용해야 한다는 점이다. 자외선 램프의 사용에 따른 에너지 비용은 난분해성 오염물질 처리에 사용될 수 있는 다른 수처리 방법과 비교하여 비용편익 측면에서 광촉매 반응의 가장 큰 단점으로 인식되고 있다.

[0007] 따라서, 이를 해결하기 위하여 이용되는 태양 반응기는 에너지원으로 태양광이나 태양열, 또는 복합적인 태양광과 열을 사용하고, 반도체 성질의 광촉매를 사용하므로 대기, 토양, 물 등에 오염된 유독성 물질의 분해 처리 후 이차적인 환경오염의 문제가 전혀 대두되지 않는다.

[0008] 일반적으로 지표면에 도달하는 태양의 UV-flux는 20 내지 30 Wm^{-2} 이며, 태양이 방사하는 UV-A(300~400nm)의 에너지는 0.2 내지 0.3 $\text{mol photon m}^{-2} \text{h}^{-1}$ 이다. 이 정도의 photon양은 광촉매 공정으로 오염물질을 분해하는데 적합한 양이다. 하지만 상기와 같은 태양 반응기의 이용은 태양을 이용함에 있어서 날씨 또는 시간에 따라 태양의 광세기가 변화되어 태양광촉매반응(solar-photocatalysis)의 처리 효율을 제한할 수 있는 어려움을 가지고 있었다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 계속적으로 연구가 진행되고 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0009] 따라서, 본 발명의 목적은 초음파 발생기 및 태양광 집중 반응기를 연속적으로 결합하여 광촉매 처리 효율을 높이므로, 높은 폐수처리 효율을 가지는 수처리 방법 및 수처리 장치를 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

- [0010] 상술한 바와 같은 목적을 해결하기 위하여, 본 발명은 폐수 중 오염물질을 처리하는 방법으로서,
- [0011] 폐수에 광촉매를 투입하는 단계;
- [0012] 상기 광촉매를 투입한 폐수에 초음파를 조사하는 초음파 처리 단계; 및
- [0013] 상기 초음파 처리한 후, 태양광 집중 반응기를 이용하여 태양광을 집광, 반사하여 상기 폐수에 조사하여 폐수 중의 오염물질을 분해하는 광촉매 처리 단계를 포함하는 수 처리 방법을 제공한다.
- [0014] 또한, 본 발명은 폐수 중 오염물질을 처리하는 장치로서,
- [0015] 폐수를 저장하는 저장조;
- [0016] 상기 저장조에 결합된 초음파 발생기;
- [0017] 배관을 통하여 상기 저장조에 연결되며, 상기 폐수를 태양광 집중 반응기에 공급하는 수단인 순환펌프;
- [0018] 상기 저장조의 배관 및 상기 순환펌프와 연결되고, 태양광을 집광, 반사하여 상기 폐수에 조사하는 태양광 집중 반응기; 및
- [0019] 상기 저장조에 연결되어 이산화티타늄 광촉매를 공급하는 광촉매 저장 탱크를 포함하는 수 처리 장치를 제공한다.

발명의 효과

- [0020] 본 발명의 초음파 결합형 태양광 집중 반응기를 이용한 수처리 방법 및 수처리 장치는 광촉매 처리 효율을 높이므로, 폐수 중 오염 물질의 제거 효과가 우수하며, 태양광 집중 반응기와 초음파 발생기를 결합하여 사용함에 따라 날씨 및 시간에 제한 받지 않고 태양광을 이용하여 지속적으로 효과적인 수처리를 할 수 있고, 태양광을 이용함으로써 장치의 유지 보수비 등의 비용절감, 인공자외선 대체로 인한 에너지 절감 및 환경개선의 효과를 가진다.

도면의 간단한 설명

- [0021] 도 1은 본 발명의 일실시예로, 초음파 결합형 태양광집중반응기를 이용한 수처리 장치를 도식적으로 나타낸 것이다.
- 도 2는 본 발명에서 이용된 태양광집중반응기로서, 복합 파라볼라형 집광기(CPCs)의 측면도를 도시화한 것이다.
- 도 3은 시험예 1에 따른 초음파에 의한 광촉매 반응의 결과를 나타낸 결과로, (a)는 초음파 주파수 35kHz를 이용한 실시예 1 및 비교예 1 내지 3의 공정을 이용한 오염물질 제거효율의 결과를 나타낸 것이며, (b)는 초음파 주파수 283kHz를 이용한 실시예 2 및 비교예 1, 4 및 5의 공정을 이용한 오염물질 제거효율의 결과를 나타낸 것이다.
- 도 4는 시험예 2에 따른 초음파 주파수에 따른 이산화티타늄 광촉매의 입자 크기의 분포를 나타낸 결과를 나타낸 것이다.
- 도 5의 (a)는 시험예 2에 따른 초음파 주파수에 대한 시간에 따른 평균 입자 크기를 나타낸 결과이며, (b)는 시험예 2에 따른 초음파 주파수에 대한 시간에 따른 비표면적의 변화를 나타낸 결과이다.
- 도 6은 초음파 주파수 35kHz 및 283kHz에 의한 시간에 따른 각각의 파수 생성률을 나타낸 결과이다.
- 도 7은 본 발명의 일실시예에 대한 시험예 2의 광촉매 농도에 따른 시간에 따른 클로로폼의 분해 결과를 나타낸 그래프이다.
- 도 8의 (a)는 본 발명의 일실시예에 따른 수처리 장치를 나타낸 사진이며, (b)는 본 발명의 일실시예에서 이용한 초음파 발생기의 사진이고, (c)는 본 발명의 일실시예에서 이용한 CPC 태양광 집중 반응기의 사진을 나타내었다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0022] 이하, 본 발명은 보다 구체적으로 설명한다.
- [0023] 본 발명은 폐수 중 오염물질을 제거하는 수처리 방법으로서,

- [0024] 폐수에 광촉매를 투입하는 단계;
- [0025] 상기 광촉매를 투입한 폐수에 초음파를 조사하는 초음파 처리 단계; 및
- [0026] 상기 초음파 처리한 후, 태양광 집중 반응기를 이용하여 태양광을 집광, 반사하여 상기 폐수에 조사하여 폐수 중의 오염물질을 분해하는 광촉매 처리 단계를 포함하는 수 처리 방법에 관한 것이다.
- [0027] 상기 태양광 집중 반응기는 통상적으로 당업계에서 사용되는 것이면 어느 것이나 사용가능하나, 바람직하게는 복합 파라볼라형 집광기(Compound Parabolic Concentrators, 이하 CPCs), DSSR(Double Skin Sheet Reactor), TFFBR(Thin Film Fixed Bed Reactor)을 이용할 수 있으며, 보다 바람직하게는 CPCs를 이용하는 것이 태양광 이용 효율면에서 가장 우수하다.
- [0028] 여기서, 상기 CPCs는 일사광선을 집광해서 집열하는 집열기로 반사판이 태양추적 없이 직달 및 산란 일사 모두를 집광할 수 있어서 고정형으로 설치가 가능한 장점을 가진다.
- [0029] 상기 광촉매는 통상적으로 당업계에서 사용되는 것이면 어느 것이나 사용가능하나, 바람직하게는 이산화티타늄(TiO_2)을 이용할 수 있으며, 보다 바람직하게는 분말 형태의 이산화티타늄(TiO_2)을 사용한다.
- [0030] 상기 광촉매의 주입량은 폐수 1L당 0.2 내지 1 g인 것이 바람직하며, 보다 바람직하게는 폐수 1L당 0.2 내지 0.4g이며, 가장 바람직하게는 폐수 1L당 0.2g인 것이다. 촉매 주입량은 상기 범위에서 촉매의 회수 및 사용 비용 측면에서 최적이다.
- [0031] 상기 광촉매는 태양광이나 형광등에서 방사되는 300 내지 400nm의 파장영역을 가지는 자외선을 촉매에 조사하면 강력한 산화, 환원 반응이 진행된다.
- [0032]
- [0033] 상기 광촉매를 투입한 폐수에 초음파를 조사하는 초음파 처리 단계는 처리 용액(폐수)에 광촉매로 이산화티타늄을 투입하고 초음파를 주사하면 파동 에너지에 의해 극히 짧은 시간 동안 용액 분자 사이에 수축과 팽창이 반복되어 일어나며, 여기에 분자의 휩쓸림 현상으로 미세한 기포가 생성되었다가 소멸되는 현상이 반복적으로 발생한다. 이러한 미세기포가 생성되었다가 소멸하면서 국부적으로 기포 함몰이 발생하고, 이때 순간적인 초고온과 초고압 영역이 발생하여 이산화티타늄을 분해하거나 또는 입자 표면의 용융을 통한 화학적 결합이 가능하게 되어 이산화티타늄의 미세화가 이루어진다. 이렇게 미세화된 이산화티타늄은 입자의 크기가 작아지면서 비표면적이 증가하여 촉매 활성이 우수해지므로 폐수 중의 오염물질을 분해하여 제거하는데 효과적이다.
- [0034] 상기 초음파의 주파수는 20 내지 1000kHz인 것이 바람직하며, 보다 바람직하게는 30 내지 300 kHz이며, 가장 바람직하게는 30 내지 40 kHz이다.
- [0035] 상기 초음파는 주파수 영역에 따라 주된 반응메커니즘이 달라지는데, 저주파수(20 - 100 kHz) 영역에서는 마이크로스트리밍(microstreaming), 충격파(shock wave)와 같은 미세기포의 물리적 효과가 우세하고, 고주파수(100 - 1000 kHz) 영역에서는 열분해(pyrolysis), 라디칼 반응 등 화학적 효과가 우세하다. 본 발명의 가장 바람직한 초음파 주파수 영역인 30 내지 40 kHz 범위의 저주파수 영역에서는, 발생하는 물리적 효과에 따라 광촉매의 특성(크기, 비표면적)이 변하여 오염물질을 제거하는데 우수한 효과를 나타낼 수 있다.
- [0036] 본 발명의 수 처리 시, 반응 온도는 당업계에서 통상적으로 이용하는 범위에서 시행될 수 있으나, 15 내지 25℃의 실온인 것이 바람직하다.
- [0037] 상기 수 처리 방법은 태양광촉매 반응을 이용하여 폐수 중의 난분해성 물질을 제거할 수 있으며, 바람직하게는 클로로폼을 제거할 수 있다.
- [0038] 또한, 본 발명은 폐수 중 오염물질을 제거하는 수처리 장치로서,

- [0039] 폐수를 저장하는 저장조;
- [0040] 상기 저장조에 결합된 초음파 발생기;
- [0041] 배관을 통하여 상기 저장조에 연결되며, 상기 폐수를 태양광 집중 반응기에 공급하는 수단인 순환펌프;
- [0042] 상기 저장조의 배관 및 상기 순환펌프와 연결되고, 태양광을 집광, 반사하여 상기 폐수에 조사하는 태양광 집중 반응기; 및
- [0043] 상기 저장조에 연결되어 이산화티타늄 광촉매를 공급하는 광촉매 저장 탱크를 포함하는 수 처리 장치에 관한 것으로, 본 발명의 모식도를 도 1에 나타내었다.
- [0044] 상기 초음파 발생기는 당업계에서 통상적으로 이용하는 것이면 사용가능하나, 바람직하게는 Cup horn type 변환기를 이용할 수 있다.
- [0045] 상기 태양광 집중 반응기는 통상적으로 당업계에서 사용되는 것이면 어느 것이나 사용가능하나, 바람직하게는 복합 파라볼라형 집광기(Compound Parabolic Concentrators, CPCs), DSSR(Double Skin Sheet Reactor), TFFBR(Thin Film Fixed Bed Reactor)을 이용할 수 있으며, 보다 바람직하게는 CPCs를 이용하는 것이 태양광 이용 효율면에서 가장 우수하다.
- [0046] 여기서, 상기 CPCs는 일사광선을 집광해서 집열하는 집열기로 반사판이 태양추적 없이 직달 및 산란 일사 모두를 집광할 수 있어서 고정형으로 설치가 가능한 장점을 가지며, 그 측면도를 도 2에 나타내었다.
- [0047] 상기 광촉매의 주입량은 폐수 1L당 0.2 내지 1 g인 것이 바람직하며, 보다 바람직하게는 폐수 1L당 0.2 내지 0.4g이며, 가장 바람직하게는 폐수 1L당 0.2g인 것이다. 촉매 주입량은 상기 범위에서 촉매의 회수 및 사용 비용 측면에서 최적이다.
- [0048] 상기 광촉매는 태양광이나 형광등에서 방사되는 300 내지 400 nm의 파장영역을 가지는 자외선을 촉매에 조사하면 강력한 산화, 환원 반응이 진행된다.
- [0049] 상기 초음파의 주파수는 20 내지 1000 kHz인 것이 바람직하며, 보다 바람직하게는 30 내지 300 kHz이며, 가장 바람직하게는 30 내지 40 kHz이다.
- [0050] 상기 초음파는 주파수 영역에 따라 주된 반응메커니즘이 달라지는데, 저주파수 (20 - 100 kHz) 영역에서는 마이크로스트리밍(microstreaming), 충격파(shock wave)와 같은 미세기포의 물리적 효과가 우세하고, 고주파수 (100 - 1000 kHz) 영역에서는 열분해(pyrolysis), 라디칼 반응 등 화학적 효과가 우세하다. 본 발명의 가장 바람직한 초음파 주파수 영역인 30 내지 40 kHz 범위의 저주파수 영역에서는, 발생하는 물리적 효과에 따라 광촉매의 특성(크기, 비표면적)이 변하여 오염물질을 제거하는데 우수한 효과를 나타낼 수 있다.
- [0051] 본 발명의 수 처리 장치는 광촉매 반응을 이용하여 폐수 중의 난분해성 물질을 제거할 수 있으며, 바람직하게는 클로로폼을 제거할 수 있다.
- [0052] 단, 하기 실시예 및 시험예를 통하여 본 발명을 더욱 상세히 설명하기로 한다. 이들 실시예 및 시험예는 본 발명을 예시하는 것일 뿐, 본 발명의 내용이 하기 실시예 및 시험예에 의해 한정되는 것은 아니다.
- [0053] 실시예 1 내지 2 및 비교예 1 내지 5
- [0054] 클로로폼(Chloroform, C2432, Sigma-Aldrich, 미국)은 타겟 물질로 사용하였다. 상업적으로 이용 가능한 TiO₂ 파우더(Degussa, P25, 독일)를 촉매로 이용하였다.

[0055] 도 1은 본 발명의 일실시예로, 실험을 위한 구성을 도식적으로 나타낸 것이다. 광원으로는 실험의 재현성을 위하여 인공적인 태양 광원으로써 메탈할라이드(metalhalide) 램프(400W, 250W, Osram, Slovakia) 두 쌍을 CPC 반응기로부터 60 cm 위인 챔버의 천장에 설치하였다. 그 UV-A 인텐시티는 흐린 날의 UV-A 인텐시티와 유사한 $12 \pm 2 \text{ W/m}^2$ 이다. 본 발명의 챔버의 크기는 1200 x 600 x 700 mm이다.

[0056] 상기 CPCs 반응기는 하나의 석영관(120 Cm 길이, 지름 3cm, 두께 1.5mm)과 연마된 알루미늄 재질의 반사판(reflector)를 가지는 아크릴 모듈(acrylic module)로 구성된다. 처리 용액 4L는 저장조에서 CPCs 반응기로 magnetic centrifugal pump(MD-40, Iwaki, Japan)에 의해 재순환된다. 이 시스템은 클로로폼의 휘발성 손실을 막기 위해 무방류(closed loop)로 시행되었다. 35kHz, 283kHz의 두 초음파 변환기 모듈(Mirae Ultrasonic Tech, 한국)은 저장조 아래에 놓았다. 상기 초음파 전원은 80 W이고, 출력밀도는 0.02 W/ml이다. 상기 물의 온도는 순환 쿨링 시스템을 사용하여 $20 \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$ 를 유지하였다. 상기 클로로폼의 농도는 purge & trap(Velocity XPt, Teledyne Tekmar, 미국)과 flame ionization detector(FID)를 갖춘 가스 크로마토그래피(6890N, Agilent, 미국)에 의해 측정하였다.

[0057] 도 8의 (a)는 본 발명의 일실시예에 따른 수처리 장치를 나타낸 사진이며, (b)는 본 발명의 일실시예에서 이용한 초음파 발생기의 사진이고, (c)는 본 발명의 일실시예에서 이용한 CPC 태양광 집중 반응기의 사진을 나타내었다.

[0058] 하기 표 1에 나타낸 것과 같이, 실시예 1 내지 2 및 비교예 1 내지 5의 구성으로 실험하였다. (+ : 초음파 조사, 태양광집중반응기 on, 이산화티타늄 주입, - : 초음파 조사 안함, 태양광집중기 off, 이산화티타늄 주입 안함)

표 1

	실시예 1	실시예 2	비교예 1	비교예 2	비교예 3	비교예 4	비교예 5
초음파 (35kHz)	+	-	-	+	+	-	-
초음파 (283kHz)	-	+	-	-	-	+	+
태양광	+	+	+	-	-	-	-
이산화티타늄(TiO ₂)	+	+	+	-	+	-	+

시험예 1. 초음파 결합에 따른 오염물질 제거효율

[0061] 상기 실시예 1 내지 2 및 비교예 1 내지 5를 이용하여 태양광집중반응기 및 초음파 결합에 따른 오염물질의 제거효율을 측정하였다. 오염물질로는 클로로폼(chloroform)을 이용하여 실험하였다. 상기 클로로폼(C2432, Sigma-Aldrich, 미국) 10ppm을 포함하는 폐수를 실시예 1 내지 2 및 비교예 1 내지 5로 구성된 공정으로 각각 처리하였다.

[0062] 이때 초음파(Ultrasound, US)의 주파수는 35kHz 또는 283kHz를 이용하였으며, TiO₂의 농도는 0.2g/L이고, 상기 실시예 및 비교예 공정에 따른 시간에 대한 클로로폼의 제거효율을 도 3 및 표 2에 나타내었다.

표 2

	k	R ²
실시예 1	8.5	0.98
실시예 2	5.6	0.83
비교예 1	2.6	0.92
비교예 2	3.7	0.94
비교예 3	3.3	0.97
비교예 4	3.7	0.96
비교예 5	3.5	0.92

[0064] 도 3은 (a)는 초음파 주파수 35kHz를 이용한 실시예 1 및 비교예 1 내지 3의 공정을 이용한 오염물질 제거효율의 결과를 나타낸 것이며, (b)는 초음파 주파수 283kHz를 이용한 실시예 2; 및 비교예 1, 4, 5의 공정을 이용한

오염물질 제거효율의 결과를 나타낸 것이다.

[0065] 도 3에 나타난 바와 같이, (a)에 나타난 35kHz의 주파수를 이용한 실시예 1 및 비교예 1 내지 3를 비교해 보면, 200분 후의 클로로폼 제거 효율은, 실시예 1의 경우 80%로 나타났으며, 비교예 1, 2 및 3은 각각 22.5%, 49%, 46%로 나타났다.

[0066] 도 3의 (b)에 나타난 결과를 살펴보면, 200분 후의 클로로폼 제거 효율은, 실시예 2의 경우 64.4%로 나타났으며, 비교예 1, 4 및 5는 각각 22.5%, 52.6%, 47%로 나타났다.

[0067] 또한, 표 2에 나타난 결과와 같이 유사 일차 반응 속도 상수(k)를 비교해보면, 초음파, 초음파/TiO₂ 및 태양광/TiO₂ 공정의 비교예 보다 태양광/초음파/TiO₂의 공정을 이용한 실시예에 따른 클로로폼 제거 속도가 빠른 것으로 나타났으며, 283kHz보다 35kHz의 초음파 주파수를 주사했을 때, 그 효율이 높음을 알 수 있었다.

[0068] 따라서, 실시예 1 내지 2가 비교예 1 내지 5와 비교하여 폐수 중의 오염물질인 클로로폼을 더 효율적으로 제거하는 것으로 나타났으며, 283kHz 보다 35kHz에서의 오염물질 제거가 더 효과적이었다.

[0069] 시험예 2. 초음파 주파수에 따른 촉매 입자 크기 및 비표면적 비교

[0070] 초음파 주파수별 광촉매 입자크기와 비표면적 변화를 측정하기 위하여 입도분석기 (Particle size analyzer, Mastersizer micro, Malvern, USA) 를 이용하였다.

[0071] 도 4에는 본 발명의 초음파 주파수에 따른 촉매의 입자 분포를 나타내었다.

[0072] 그 결과, 초음파 주파수 35kHz로 처리한 촉매 입자가 283kHz로 처리한 촉매의 입자보다 더 작은 입자 크기에 많이 분포되어 있는 것으로 나타났다.

[0073] 도 5의 (a)는 초음파 주파수에 대한 시간에 따른 평균 입자 크기를 나타낸 결과이며, (b)는 초음파 주파수에 대한 시간에 따른 비표면적의 변화를 나타낸 결과이다. 도 5에 나타난 바와 같이 초음파 주파수 35kHz로 처리한 촉매가 시간에 따른 평균 입자 크기가 작은 것으로 나타났으며, 비표면적은 증가한 것으로 나타났다.

[0074] 도 6은 초음파 주파수 35kHz 및 283kHz에 의한 시간에 따른 각각의 과산화수소 생성율을 나타낸 결과로, 과산화수소는 UV spectrometer (Specord 40)를 이용하여 분석했으며, 그 결과 35kHz로 처리한 것이 과산화수소 생성율이 더 우수한 것으로 나타났다.

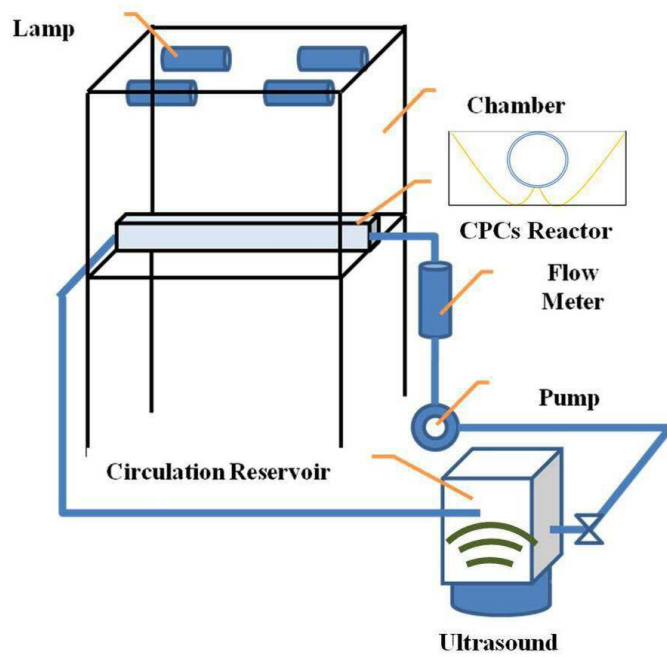
[0075] 시험예 3. 광촉매 농도에 따른 오염물질 제거효율

[0076] 광촉매의 농도에 따른 오염물질을 제거하는 효율을 알아보기 위하여, 실시예 1로 구성된 공정을 이용하여, 촉매의 주입 농도를 각각 0.1 g/L, 0.2 g/L, 0.5 g/L 및 1.0 g/L로 주입하여 비교하였다. 이때 오염물질으로써, 클로로폼(C2432, Sigma-Aldrich, 미국) 10ppm을 포함하는 폐수를 처리하였으며, 그 결과는 도 7에 나타내었다.

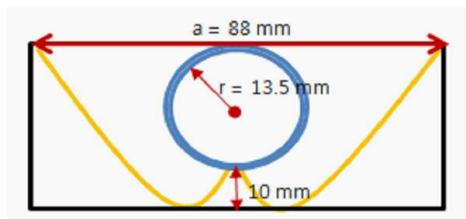
[0077] 도 7의 결과에 따르면, 광촉매의 농도는 폐수 1L 당 0.2 내지 1g에서 비슷하게 효과적인 제거 효율이 나타났으며, 따라서, 사용비용 측면에 따르면 0.2 g/L의 농도일 때 오염물질 제거 효율이 최적인 것으로 나타났다.

도면

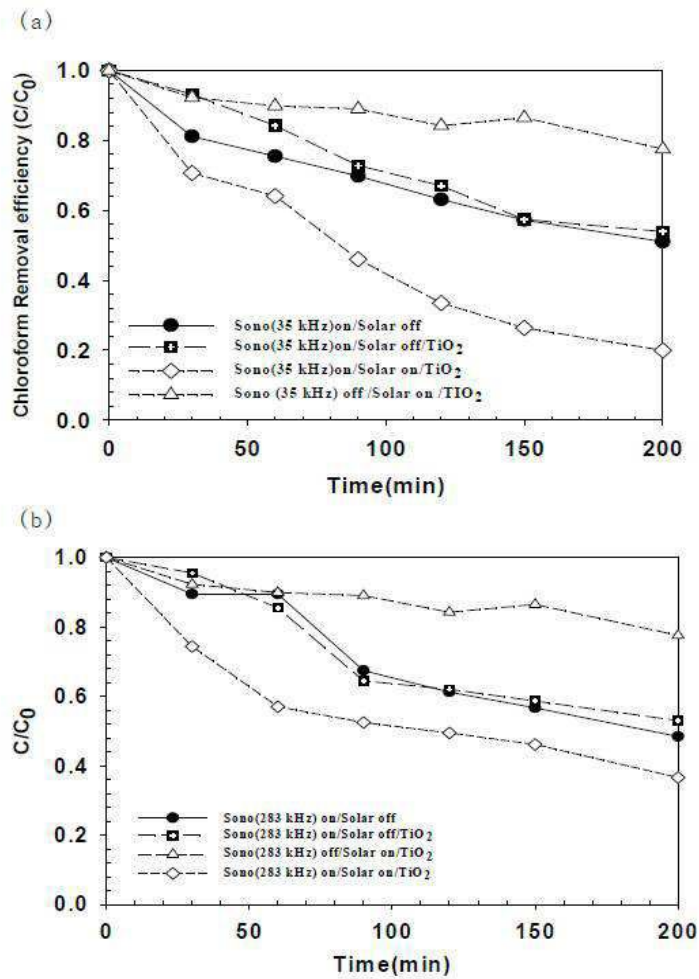
도면1



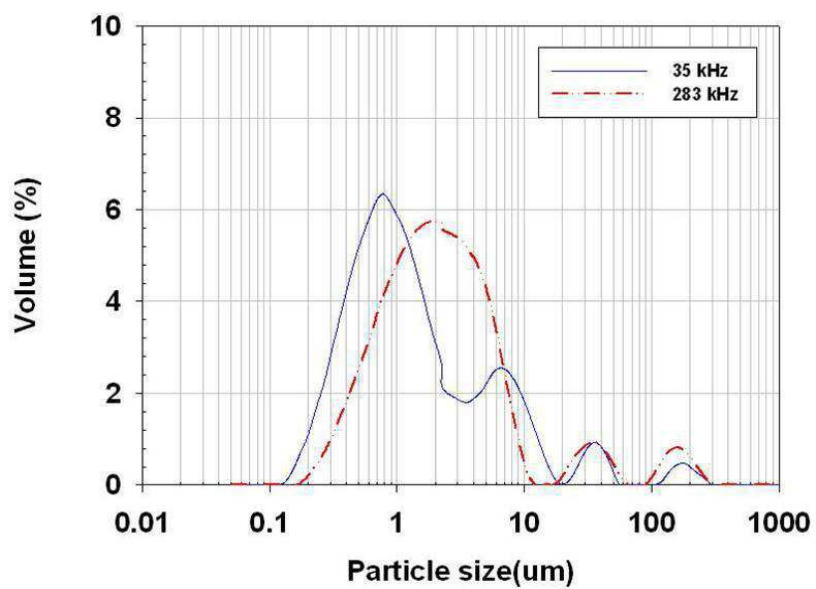
도면2



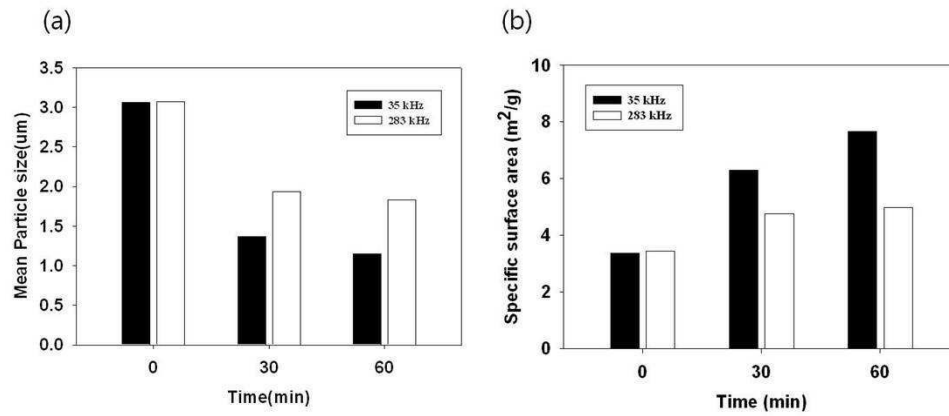
도면3



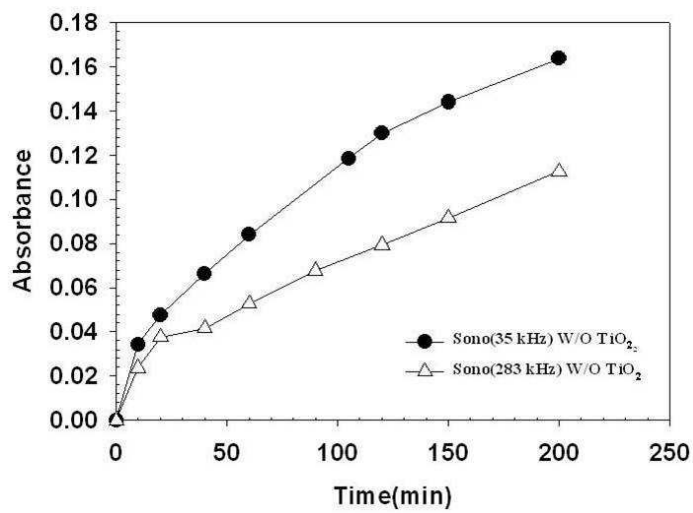
도면4



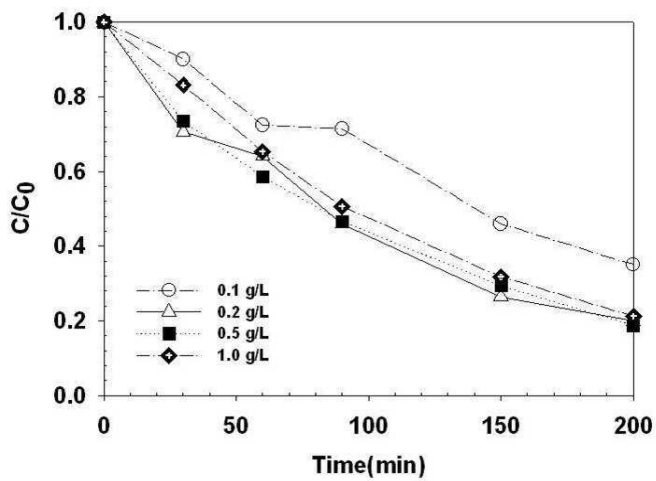
도면5



도면6



도면7



도면8

(a)



(b)



(c)

