(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2018-0089153
(43) 공개일자 2018년08월08일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C02F 9/00 (2006.01) *B01J 21/06* (2006.01)
B01J 35/00 (2006.01) *C02F 1/32* (2006.01)
C02F 1/72 (2006.01)
(52) CPC특허분류
C02F 9/00 (2013.01)
B01J 21/063 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2017-0013885
(22) 출원일자 2017년01월31일
심사청구일자 2017년01월31일

(71) 출원인
한림대학교 산학협력단
강원도 춘천시 한림대학길 1, 한림대학교(옥천동)
(72) 발명자
김정원
강원도 춘천시 칠전서길 45, 103동 1102호 (칠전동, 부영아파트)
박수나
서울특별시 서초구 신반포로 270, 124동 2002호 (반포자이아파트)
(74) 대리인
강성혜

전체 청구항 수 : 총 8 항

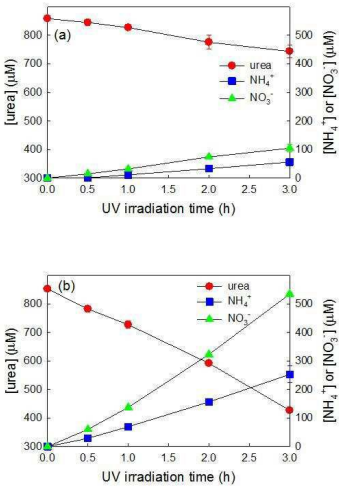
(54) 발명의 명칭 **이산화티타늄 광촉매를 이용한 요소 분해 방법**

(57) 요 약

해결하고자 하는 과제: 효과적인 요소 분해 방법을 제공하려는 것.

과제 해결 수단: 산소 존재 하 자외선과 이산화티타늄 광촉매를 이용하여 요소 함유 용액 내의 요소를 분해한다. 좀 더 바람직하게는 이산화티타늄 광촉매의 표면에 백금을 담지한 것을 이용한다. 요소 함유 용액으로는 요소만 함유된 수용액보다는 인공 소변 등 인산 이온이 함께 함유된 용액을 이용하는 것이 요소 분해에 더 효율적이다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
B01J 35/004 (2013.01)
C02F 1/32 (2013.01)
C02F 1/725 (2013.01)
C02F 2305/10 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 NRF-2016R1A1A1A05005200
부처명 미래창조과학부
연구관리전문기관 한국연구재단
연구사업명 신진연구자지원사업
연구과제명 폐수처리와 수소생산의 동시 달성을 위한 광활성 나노소재 개발
기 여 율 1/2
주관기관 한림대학교 산학협력단
연구기간 2016.06.01 ~ 2017.05.31
이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 NRF-2014M1A3A3A02034875
부처명 미래창조과학부
연구관리전문기관 한국연구재단
연구사업명 우주핵심기술개발사업
연구과제명 국제우주정거장에서의 물 재이용을 위한 태양광 기반 하이브리드 수처리 장치 개발
기 여 율 1/2
주관기관 한림대학교 산학협력단
연구기간 2016.07.01 ~ 2017.06.30

명 세 서

청구범위

청구항 1

a) 이산화티타늄 (TiO_2)을 용매 내에 분산시켜 이산화티타늄 용액을 제조하는 단계;

b) 요소가 포함된 용액을 상기 이산화티타늄 용액에 가하는 단계;

c) 상기 요소가 포함된 용액을 가한 이산화티타늄 용액에 산소가 존재하는 상태에서 교반하면서 자외선을 조사하는 단계;를 포함하는 자외선과 이산화티타늄을 이용한 요소 분해 방법.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 이산화티타늄은 표면적이 30~500 m^2/g인 것을 특징으로 하는 자외선과 이산화티타늄을 이용한 요소 분해 방법.

청구항 3

청구항 1에 있어서,

상기 요소의 농도는 1~1000 μM인 것을 특징으로 하는 자외선과 이산화티타늄을 이용한 요소 분해 방법.

청구항 4

청구항 1에 있어서,

상기 요소가 포함된 용액은 비료, 폭약, 제약, 화장품 또는 플라스틱 생산 공장에서 발생하는 폐수 또는 사람 및 동물의 소변에서 유래한 것임을 특징으로 하는 자외선과 이산화티타늄을 이용한 요소 분해 방법.

청구항 5

청구항 1에 있어서,

상기 요소가 포함된 용액은 인산 이온이 더 포함된 것임을 특징으로 하는 자외선과 이산화티타늄을 이용한 요소 분해 방법.

청구항 6

청구항 1에 있어서,

상기 조사하는 자외선의 파장은 300~380 ㎚인 것을 특징으로 하는 자외선과 이산화티타늄을 이용한 요소 분해 방법.

청구항 7

청구항 1에 있어서,

상기 이산화티타늄은 표면에 백금을 담지한 것을 특징으로 하는 자외선과 이산화티타늄을 이용한 요소 분해 방법.

청구항 8

청구항 7에 있어서,

상기 백금의 중량은 이산화티타늄에 대하여 0.1~5wt%임을 특징으로 하는 자외선과 이산화티타늄을 이용한 요소 분해 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 이산화티타늄 광촉매를 이용한 요소 분해 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0003] 비료, 폭약, 제약, 화장품, 플라스틱 생산 공장 등에서 발생하는 폐수에는 많은 양의 요소가 포함되어 있다. 또한, 요소는 인간과 동물의 소변을 구성하는 주요 구성물질로서, 생활하수 속 요소의 농도는 매우 높다. 수영장 물에 함유된 요소는 수영장 물의 정화과정에서 독성이 높은 질소 함유 소독 부산물로 변하고, 요소가 연안으로 유입되면 조류의 영양물질로 작용하여 조류 대번식을 일으킨다. 따라서, 요소 분해 방법에 대한 개발이 중요하다.

[0004] 이산화티타늄 광촉매는 자외선 하에서 다양한 산화물질들 {가전자대 정공 (valence band hole, h_{VB}^{+}), OH 라디칼 ($^{\cdot}OH$), 슈퍼옥사이드 라디칼 ($O_2^{\cdot -}$)}을 생산하고, 이 산화물질들에 의해 오염물질이 분해된다. 또한, 이산화티타늄 표면에 백금 (platinum, Pt)을 담지함으로써 광촉매 분해 효율을 향상시킬 수 있다. 이산화티타늄 표면에 담지된 백금은 이산화티타늄 전도대의 전자 (conduction band electron, e_{CB}^{-})가 가전자대의 정공 (valence band hole, h_{VB}^{+})과 재결합하는 것을 방지함으로써, 산화물질의 생산을 촉진하고 나아가 오염물질의 분해효율을 향상시킨다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 본 발명은 요소를 분해하는 좀 더 효과적인 방법을 제공하려는 것이다.

과제의 해결 수단

[0008] 상기 과제를 해결하기 위하여 본 발명자는 요소를 분해할 수 있는 효과적인 방법을 확립하여 본 발명을 완성하였다.

[0009] 본 발명은

[0010] a) 이산화티타늄 (TiO_2)을 용매 내에 분산시켜 이산화티타늄 용액을 제조하는 단계;

[0011] b) 요소가 포함된 용액을 상기 이산화티타늄 용액에 가하는 단계;

[0012] c) 상기 요소가 포함된 용액을 가한 이산화티타늄 용액에 산소가 존재하는 상태에서 교반하면서 자외선을 조사

하는 단계;를 포함하는 자외선과 이산화티타늄을 이용한 요소 분해 방법에 관한 것이다.

[0013] 또한, 본 발명은 상기 이산화티타늄의 표면적이 30~500 m^2/g인 것을 특징으로 하는 자외선과 이산화티타늄을 이용한 요소 분해 방법에 관한 것이다.

[0014] 또한, 본 발명은 상기 요소의 농도가 1~1000 μM인 것을 특징으로 하는 자외선과 이산화티타늄을 이용한 요소 분해 방법에 관한 것이다.

[0015] 또한, 본 발명은 상기 요소가 포함된 용액이 비료, 폭약, 제약, 화장품 또는 플라스틱 생산 공장에서 발생하는 폐수 또는 사람 및 동물의 소변에서 유래한 것임을 특징으로 하는 자외선과 이산화티타늄을 이용한 요소 분해 방법에 관한 것이다.

[0016] 또한, 본 발명은 상기 요소가 포함된 용액에 인산 이온이 더 포함된 것을 특징으로 하는 자외선과 이산화티타늄을 이용한 요소 분해 방법에 관한 것이다.

[0017] 또한, 본 발명은 상기 조사하는 자외선의 파장이 400 nm 이하, 바람직하게는 300~380 nm인 것을 특징으로 하는 자외선과 이산화티타늄을 이용한 요소 분해 방법에 관한 것이다.

[0018] 또한, 본 발명은 상기 이산화티타늄 표면에 백금을 담지한 것을 특징으로 하는 자외선과 이산화티타늄을 이용한 요소 분해 방법에 관한 것이다.

[0019] 또한, 본 발명은 상기 백금의 중량이 이산화티타늄에 대하여 0.1~5wt%임을 특징으로 하는 자외선과 이산화티타늄을 이용한 요소 분해 방법에 관한 것이다.

[0020] 본 발명의 자외선과 이산화티타늄을 이용한 요소 분해 방법을 좀 더 자세히 설명하면, 먼저 이산화티타늄을 증류수에 넣고 초음파로 처리하여 분산시킨다. 이때 이산화티타늄으로는 표면적이 30 m^2/g 이상인 것, 좀 더 한정하면, 표면적 30~500 m^2/g의 것이 요소 분해의 주 산화물질인 OH 라디칼 생산 능력이 우수하여 바람직하다.

[0021] 또한, 이산화티타늄 용액에 요소 용액을 넣는다. 상기 요소의 농도에 특별한 제한은 없으나, 1~1000 μM 범위에서 요소의 분해가 좀 더 효과적이다.

[0022] 또한, 요소가 포함된 용액에 인산 이온이 더 포함된 경우 요소 분해가 더 효과적으로 일어난다.

[0023] 다음으로, 상기 요소 용액과 이산화티타늄이 함유된 용액에 자외선을 조사한다. 자외선은 400 nm 이하, 바람직하게는 300 nm 내지 380 nm이다. 상기 범위를 만족하는 경우 요소 분해가 효율적으로 일어날 수 있게 된다.

[0024] 또한, 상기 이산화티타늄은 표면에 백금을 담지한 이산화티타늄을 사용하는 것이 요소 분해에 더 효과적이다.

[0025] 또한, 이산화티타늄 표면에 담지된 백금의 중량이 이산화티타늄에 대하여 0.1~5wt% 범위일 때 이산화티타늄 광촉매 작용을 극대화할 수 있다.

발명의 효과

[0027] 본 발명의 자외선과 이산화티타늄을 이용한 요소 분해 방법을 이용하는 경우, 간단한 방법으로 요소를 효과적으로 분해할 수 있으므로, 요소를 포함하는 공장폐수, 산업폐수, 오염수, 소변 등의 정화에 이용할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0029] 도 1은 (a) 이산화티타늄과 (b) 백금이 표면에 담지된 이산화티타늄을 이용한 수중 요소 분해 및 요소의 분해로 생성되는 질산염 이온과 암모늄 이온의 농도를 나타내는 그래프이다. 실험 조건: [이산화티타늄] 또는 [백금이 표면에 담지된 이산화티타늄] = 15 mg/30 mL, [요소] = 860 μM, 자외선의 파장 = 320 nm 이상.

도 2는 (a) 이산화티타늄과 (b) 백금이 표면에 담지된 이산화티타늄을 이용한 요소 수용액 분해시 총 유기탄소의 제거효율을 나타내는 그래프이다. 실험 조건: [이산화티타늄] 또는 [백금이 표면에 담지된 이산화티타늄] = 15 mg/30 mL, [요소] = 860 μM, 자외선의 파장 = 320 nm 이상, 자외선 조사시간 = 3시간.

도 3은 (a) 이산화티타늄과 (b) 백금이 표면에 담지된 이산화티타늄을 이용한 인공소변 중 요소 분해 및 요소의

분해로 생성되는 질산염 이온과 암모늄 이온의 농도를 나타내는 그래프이다. 실험 조건: [이산화티타늄] 또는 [백금이 표면에 담지된 이산화티타늄] = 15 mg/30 mL, [인공소변 중 요소] = 860 μM, 자외선의 파장 = 320 nm 이상.

도 4는 (a) 이산화티타늄과 (b) 백금이 표면에 담지된 이산화티타늄을 이용한 인공소변 분해시 총 유기탄소의 제거효율을 나타내는 그래프이다. 실험 조건: [이산화티타늄] 또는 [백금이 표면에 담지된 이산화티타늄] = 15 mg/30 mL, [인공소변 중 요소] = 860 μM, 자외선의 파장 = 320 nm 이상, 자외선 조사시간 = 3시간.

도 5는 인산 이온의 존재 유무에 따른 수중 요소 분해를 나타내는 그래프이다. 실험 조건: [이산화티타늄] = 15 mg/30 mL, [인산 이온] = 64.3 μM, [요소] = 860 μM, 자외선의 파장 = 320 nm 이상.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0030] 아래에서는 구체적인 실시예를 들어 본 발명의 구성을 좀 더 자세히 설명한다. 그러나 본 발명의 범위가 실시예의 기재에만 한정되는 것이 아님은 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 자명하다.

[0032] **재료 및 화학약품**

[0033] 본 발명에서 사용한 재료 및 화학 약품의 입수처는 아래와 같다.

[0034] 이산화티타늄 (Titanium dioxide, TiO_2, Degussa P25, 표면적 = 50 m^2/g), 요소 (Urea, NH_2CONH_2, Sigma-Aldrich), 제1인산 칼륨 (Potassium phosphate monobasic, KH_2PO_4, Sigma-Aldrich), 황산 나트륨 (Sodium sulfate, Na_2SO_4, Sigma-Aldrich), 구연산 나트륨 2수화물 (Sodium citrate tribasic dihydrate, $HOC(COONa)(CH_2COONa)_2 \cdot 2H_2O$, Sigma-Aldrich), 크레아티닌 (Creatinine, $C_4H_7N_3O$, Sigma-Aldrich), 옥살산 나트륨 (Sodium oxalate, NaOOCCOONa, Sigma-Aldrich), 염화 칼륨 (Potassium chloride, KCl, Sigma-Aldrich), 염화 암모늄 (Ammonium chloride, NH_4Cl, Sigma-Aldrich), 염화 마그네슘 6수화물 (Magnesium chloride hexahydrate, $MgCl_2 \cdot 6H_2O$, Sigma-Aldrich), 염화 나트륨 (Sodium chloride, NaCl, Sigma-Aldrich), 염화 칼슘 2수화물 (Calcium chloride dihydrate, $CaCl_2 \cdot 2H_2O$, Sigma-Aldrich), 요소분해효소 (Urease from *Canavalia ensiformis* (Jack bean), type Ⅲ, Sigma), 염화 백금산 수화물 (Chloroplatinic acid hydrate, $H_2PtCl_6 \cdot xH_2O$, Aldrich), 메탄올 (Methanol, CH_3OH, Wako). 이온이 제거된 초고순수 (18.3 MΩ · cm)가 사용되었고, 이는 Human-Power I+ 초고순수 제조 장치 (Human corporation)에 의해 제조되었다. 인공 소변은 여러 화학물질을 사용하여 만들었으며, 그 조성은 표 1과 같다.

[0036] **백금이 표면에 담지된 이산화티타늄 합성 방법**

[0037] 백금이 표면에 담지된 이산화티타늄 광촉매는 광환원법 (photodeposition method)을 이용해 제조하였다. 백금 전구체인 염화 백금산 수화물 (chloroplatinic acid hydrate, 24.4 μM)과 전자 공여체인 메탄올 (methanol, 1 M)이 존재하는 수용액에 이산화티타늄 (0.5 g/500 mL)을 넣어 분산시키고, 300-W 제논 아크 램프 (Xe arc lamp, λ >295 nm, Oriel)를 이용하여 빛을 조사하였다. 빛을 세 시간 조사한 후 백금이 표면에 담지된 이산화티타늄 광촉매는 0.45 μm PVDF 디스크 필터 (Pall)를 이용하여 수집하였고, 증류수로 씻어준 뒤, 70 ℃ 오븐에서 건조하였다. 여과 후 남아있는 염화 백금산 수화물의 농도를 유도 결합형 플라즈마 원자 방출 분광기 (inductively coupled plasma-atomic emission spectroscopy, ICP-AES, Spectro)를 이용하여 분석한 결과 이산화티타늄 표면에 담지된 백금은 약 0.5wt%인 것으로 확인되었다.

[0039] **실험 방법**

[0040] 이산화타타늄 (TiO_2) 또는 백금이 표면에 담지된 이산화티타늄 (Pt/TiO_2) 15 mg을 증류수에 넣고, 초음파 발생장치에서 1분간 초음파 처리하여 분산하였다. 고농도의 요소 수용액 또는 인공 소변을 이산화티타늄이 분산된 용액에 넣어 요소의 초기 농도를 설정하였다. 요소의 초기 농도는 860 μM이 되게 하였다. 최종적으로 만들어진

용액의 부피는 30 mL로 하였다.

[0041] 이산화티타늄 또는 백금이 표면에 담지된 이산화티타늄에 요소 및 소변의 성분들이 흡착 평형을 이룰 때까지 빛이 차단된 상태에서 30분간 교반하였다. 300-W 제논 아크 램프 (Xe arc lamp, Oriel)를 광원으로 사용하였다. 광원에서 발생한 빛은 5 cm의 적외선 물 필터 (IR water filter)에 의해 열을 발생하는 적외선이 차단되었으며, 빛 차단 필터 (cutoff filter)를 이용하여 320 nm 이상의 빛 (λ > 320 nm)만을 투과시켰다. 투과된 빛의 초점이 원통형의 유리 반응기 (부피 = 35 mL)로 향하게 하였다. 빛을 조사하면서 교반을 계속 진행하였고, 산소가 고갈되지 않도록 반응기의 뚜껑을 열어두었다. 시료는 빛이 조사되는 동안 1 mL씩 채취하였고, 0.45 μm PTFE 주사기 필터 (Millipore)로 이산화티타늄 또는 백금이 표면에 담지된 이산화티타늄을 제거하고 결과를 분석하였다. 모든 실험은 최소 두 번 이상 실시하였다.

[0043] **요소의 농도 분석**

[0044] 요소의 농도는 요소가 요소분해효소 (urease)에 의해 가수분해되어 변환된 암모늄 이온 (NH_4^+)의 농도를 분석하여 측정하였다. 다시 말하면, [요소 농도] = {[요소분해효소가 있을 때의 암모늄 이온 농도] - [요소분해효소가 없을 때의 암모늄 이온 농도]}/2이다. 500 mL의 증류수에 요소분해효소를 0.6 g 녹여 요소분해효소 용액을 만들었다. 그리고 요소분해효소 용액 0.1 mL를 분취하여 시료 0.5 mL가 담긴 용기에 주입하였다. 용기를 교반한 후, 50 ℃의 따뜻한 물에서 20분간 중탕하고, 30분간 상온에서 식혔다. 그 후 시료 속의 암모늄 농도를 측정하였다.

[0045] 요소의 광촉매 분해로 생성된 질산염 이온과 요소의 효소 가수분해 또는 요소의 광촉매 분해로 생성된 암모늄 이온의 농도는 이온 크로마토그래피 (ion chromatography, IC, Dionex ICS-1100)를 이용하여 분석하였다. 이때 전도도 검출기가 사용되었으며, 컬럼은 Dionex IonPac AS14 컬럼 (4 mm x 250 mm, 질산염 이온 분석용)과 Dionex IonPac CS12A 컬럼 (4 mm x 250 mm, 암모늄 이온 분석용)을 사용하였다. 용리액으로 20 mM 메타술폰산 (methanesulfonic acid) 용액과 3.5 mM 탄산나트륨 (sodium carbonate)/1 mM 탄산수소나트륨 (sodium bicarbonate) 용액을 각각 암모늄 이온과 질산염 이온을 측정하기 위해 사용하였다. 인공 소변에 원래 포함되어 있던 초기 암모늄 이온 농도는 암모늄 이온 생성 농도에서 제하였다.

[0047] **총 유기 탄소의 농도 분석**

[0048] 총 유기 탄소 농도는 유기물 분석기 (TOC analyzer, Shimadzu TOC-L_{CPH})를 이용하여 분석하였다. 이때 이산화탄소 검출기로 비분산 적외선 센서 (NDIR)를 사용하였다. 총 유기 탄소 농도는 총 탄소 농도로부터 무기 탄소 농도를 빼서 산출하였다.

[0050] 결과 1: 이산화티타늄과 백금이 표면에 담지된 이산화티타늄을 이용한 수중 요소 분해 및 요소의 분해로 생성된 질산염 이온과 암모늄 이온의 농도

[0051] 도 1은 이산화티타늄과 백금이 표면에 담지된 이산화티타늄을 이용한 수중 요소 분해 및 요소의 분해로 생성된 질산염 이온과 암모늄 이온의 농도를 나타낸 결과이다. 이산화티타늄의 경우 세 시간 동안 자외선 조사 후 요소의 농도가 115 μM 감소하였고, 백금이 표면에 담지된 이산화티타늄의 경우에는 요소의 농도가 425 μM 감소하였다. 즉 백금이 표면에 담지된 이산화티타늄의 요소 분해 효율이 이산화티타늄보다 3.7배 높았다. 이 결과와 유사하게 요소의 분해로 생성된 질산염 이온과 암모늄 이온의 농도 역시 이산화티타늄보다 백금이 표면에 담지된 이산화티타늄에서 더 높았다.

[0053] 결과 2: 이산화티타늄과 백금이 표면에 담지된 이산화티타늄을 이용한 수중 요소 분해시 총 유기 탄소의 제거효율

[0054] 도 2는 이산화티타늄과 백금이 표면에 담지된 이산화티타늄을 이용한 수중 요소 분해시 총 유기 탄소의 제거효율을 나타낸 결과이다. 이산화티타늄의 경우 세 시간 동안 자외선 조사 후 요소 수용액의 총 유기 탄소가 12.6% 제거되었고, 백금이 표면에 담지된 이산화티타늄의 경우에는 요소 수용액의 총 유기 탄소가 36.1% 제거되었다. 즉 백금이 표면에 담지된 이산화티타늄의 요소 수용액 내 요소 무기화 효율이 이산화티타늄보다 2.9배 높았다.

[0056] 결과 3: 이산화티타늄과 백금이 표면에 담지된 이산화티타늄을 이용한 인공 소변 중 요소 분해 및 요소의 분해로 생성된 질산염 이온과 암모늄 이온의 농도

[0057] 도 3은 이산화티타늄과 백금이 표면에 담지된 이산화티타늄을 이용한 인공 소변 중 요소 분해 및 요소의 분해로 생성된 질산염 이온과 암모늄 이온의 농도를 나타낸 결과이다. 이산화티타늄의 경우 세 시간 동안 자외선 조사 후 요소의 농도가 230 μM 감소하였고, 백금이 표면에 담지된 이산화티타늄의 경우에는 요소의 농도가 356 μM 감소하였다. 즉 백금이 표면에 담지된 이산화티타늄의 인공 소변 중 요소 분해 효율이 이산화티타늄보다 1.5배 높았다. 이 결과와 유사하게 요소의 분해로 생성된 질산염 이온과 암모늄 이온의 농도 역시 이산화티타늄보다 백금이 표면에 담지된 이산화티타늄에서 높았다.

[0059] 결과 4: 이산화티타늄과 백금이 표면에 담지된 이산화티타늄을 이용한 인공 소변 분해시 총 유기 탄소의 제거효율

[0060] 도 4는 이산화티타늄과 백금이 표면에 담지된 이산화티타늄을 이용한 인공 소변 분해시 총 유기 탄소의 제거효율을 나타낸 결과이다. 이산화티타늄의 경우 세 시간 동안 자외선 조사 후 인공 소변의 총 유기 탄소가 25.4% 제거되었고, 백금이 표면에 담지된 이산화티타늄의 경우에는 인공 소변의 총 유기 탄소가 32.0% 제거되었다. 즉 백금이 표면에 담지된 이산화티타늄의 인공 소변 무기화 효율이 이산화티타늄보다 1.3배 높았다.

[0062] 결과 5: 이산화티타늄을 이용한 수중 요소 분해시 인산 이온의 영향

[0063] 도 5는 인산 이온의 존재 유무에 따른 수중 요소 분해를 나타낸 결과이다. 세 시간 동안 자외선 조사 후 인산 이온이 존재하지 않는 경우에는 요소의 농도가 108 μM 감소하였고, 64.3 μM의 인산 이온이 존재한 경우에는 요소의 농도가 274 μM 감소하였다. 즉 인산 이온이 존재할 경우 요소 분해 효율이 2.5배 증가하였다. 이는 인산 이온이 이산화티타늄 표면에 흡착함으로써 이산화티타늄의 OH 라디칼 생산 능력을 향상시켰기 때문이다.

[0065] 아래 표 1은 본 발명의 이산화티타늄 광촉매를 이용한 요소 분해 실험에 사용한 인공 소변의 구성을 나타낸 것이다.

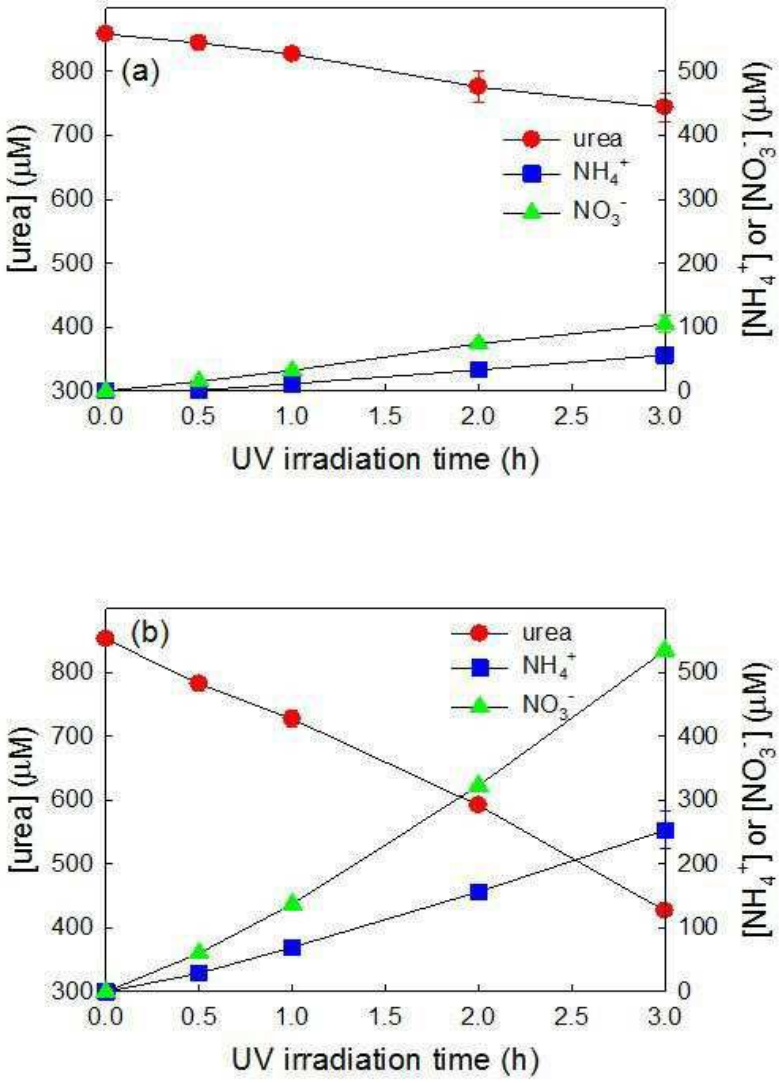
표 1

[0066]

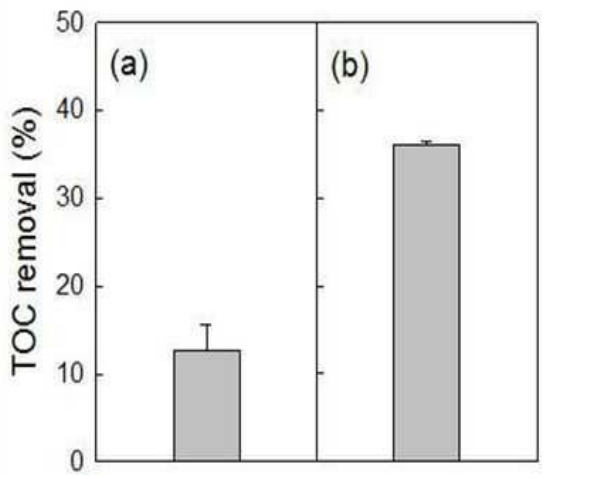
chemical name	dose (g/500 mL)	concentration (mM)
urea	12.5	416.25
potassium phosphate monobasic	2.1	30.86
sodium sulfate	1.15	16.19
sodium citrate tribasic dihydrate	0.325	2.21
creatinine	0.55	9.72
sodium oxalate	0.01	0.15
potassium chloride	0.8	21.46
ammonium chloride	0.5	18.70
magnesium chloride hexahydrate	0.325	3.20
sodium chloride	2.3	78.71
calcium chloride dihydrate	0.325	4.42

도면

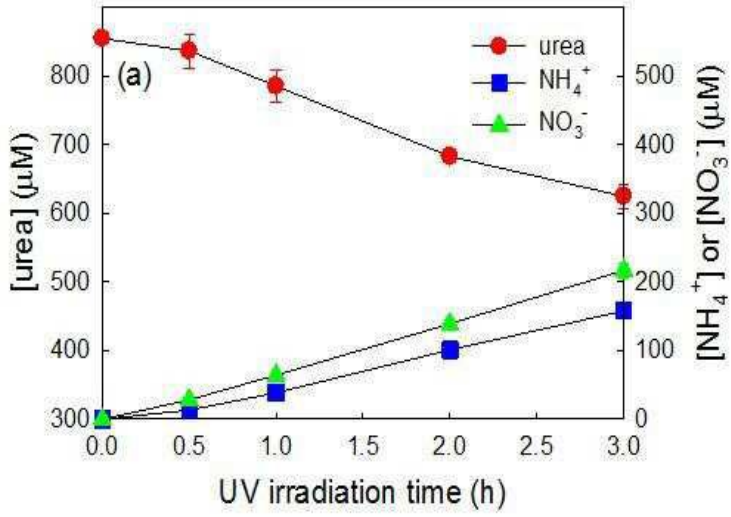
도면1

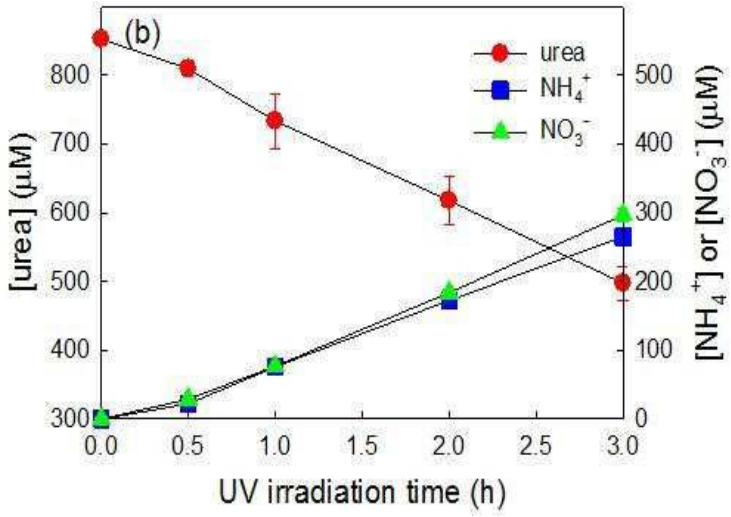

(a)
urea
NH_4^+
NO_3^-
[urea] (μM)
$[NH_4^+]$ or $[NO_3^-]$ (μM)
UV irradiation time (h)
(b)
urea
NH_4^+
NO_3^-
[urea] (μM)
$[NH_4^+]$ or $[NO_3^-]$ (μM)
UV irradiation time (h)

도면2

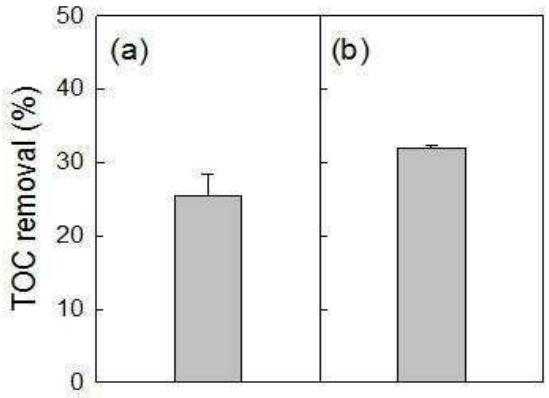

(a)
(b)
TOC removal (%)
0
10
20
30
40
50

도면3

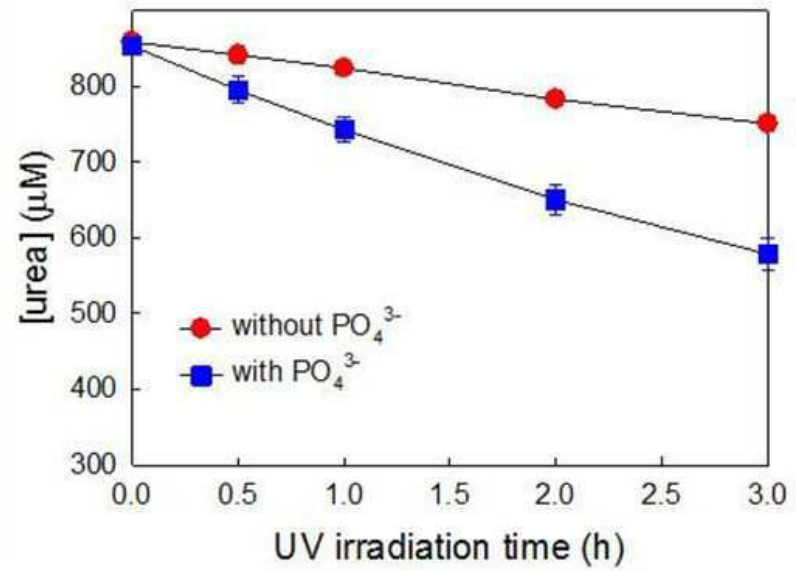

(a)
urea
NH4+
NO3-
[urea] (μM)
[NH4+] or [NO3-] (μM)
UV irradiation time (h)
300
400
500
600
700
800
0
100
200
300
400
500
0.0
0.5
1.0
1.5
2.0
2.5
3.0


(b)
urea
NH4+
NO3-
[urea] (μM)
[NH4+] or [NO3-] (μM)
UV irradiation time (h)
300
400
500
600
700
800
0
100
200
300
400
500
0.0
0.5
1.0
1.5
2.0
2.5
3.0

도면4


(a)
(b)
TOC removal (%)
0
10
20
30
40
50

도면5


[urea] (μM)
300
400
500
600
700
800
0.0
0.5
1.0
1.5
2.0
2.5
3.0
UV irradiation time (h)
without PO4 3-
with PO4 3-