

광촉매는 재조명 받을 수 있을까?

일리노이대학교  
김동현

광촉매의 향후 연구 및 산업화에 대한 아래의 내용들은 순전히 제 개인적인 의견임을 미리 말씀 드립니다. 아직 산업화가 이루어지지 않은 기술에 대한 평가는 각자의 의견이 다를 수 있으며, 또한 기술에 대한 총체적인 내용을 제가 모두 알고 있는 것은 아니기 때문에 정확성에 있어 오차가 있을 수도 있을 것입니다. 이점을 미리 말씀 드리고 내용을 시작해 보겠습니다.

광촉매는 1972년 후지시마교수님이 처음 발표하신 이후 40년간 다양한 방향으로 연구가 진행되었습니다.

제가 생각하기에는 지난 40년간의 연구는 크게 제1 및 2 세대로 구분 지을 수 있습니다.

제1세대(1972~2000): 환경오염물 처리기술을 위한 광촉매 성능향상 기술 개발

제2세대(2000~현재): 가시광선 반응 광촉매 개발 및 수소생산 기술

## 1. 제 1세대

제1세대 기간에는 세계적으로 환경오염물 처리에 대한 관심이 매우 컸었던 시점입니다.

이 때문에 광촉매를 수처리 및 대기 오염물질 처리에 적용하려는 연구가 주를 이루었습니다.

그리고 이 당시 주로 사용되었던 광촉매는  $TiO_2$  였습니다.

그러나  $TiO_2$  광촉매반응을 이용한 환경오염물질 처리에는 몇 가지 문제점이 대두되었습니다.

첫째는 처리효율

둘째는 자외선 이용

셋째는 경제성 (사실은 첫 번째 이유인 처리 효율과 관련 있지만 구분해서 설명하겠습니다.)

## 첫째: 처리효율

많은 연구에서 광촉매반응으로 매우 다양한 유기화학물질을 분해할 수 있는 것으로 보고되었습니다. 반응 중간생성물까지도 완전히 분해하여 궁극적으로 유기화학물질을 CO<sub>2</sub>와 H<sub>2</sub>O로 분해할 수 있었습니다. 오존보다도 더 강력한 산화력을 가지고 있어 가능했었던 것 같습니다.

그러나 반응장치를 bench에서 pilot scale로 만들어 반응을 시켜보면 몇 가지 한계가 드러나게 됩니다.

자외선램프의 빛을 받을 수 있는 광촉매 영역만이 광촉매반응을 일으킬 수 있다는 것을 알게 됩니다. TiO<sub>2</sub> 분말을 이용 수처리의 경우 자외선램프로부터 물 깊이 1cm까지만 광촉매반응이 일어날 수 있는 영역이 됩니다. 즉, 그 이상의 거리에는 자외선이 불투명한 TiO<sub>2</sub> 분말이 들어 있는 물을 통과할 수 없기 때문입니다.

예를 들어 폐수의 COD를 줄이기 위해 오존이나 Fenton방법과 같은 화학적 처리방법을 사용하는 경우 오존이나 화학약품은 처리하고자 하는 물 전체에 퍼져 전체적인 반응 일어나게 합니다. 그러나 광촉매반응은 자외선 빛을 받고 있는 광촉매에 흡착 또는 최소한 접촉하고 있는 물질만이 반응에 참여할 수 있기 때문에 상당히 제한적입니다. 간단한 광촉매와 오존이나 펜톤 비교실험을 통해 광촉매가 처리효율에 있어 낮은 성능을 가지고 있다는 것을 알 수 있습니다. 제 생각으로는 이러한 기존의 수처리 기술과 비교해 광촉매반응은 그다지 매력적인 수처리기술이 될 수 없었던 것 같습니다.

또한 광촉매 분말을 수처리에 사용한 경우 처리반응 후 TiO<sub>2</sub> 분말을 다시 분리하는 공정이 필요합니다. TiO<sub>2</sub> 분말의 분리공정을 극복하기 위해서 특정 지지체에 TiO<sub>2</sub>를 박막으로 형성한 박막 TiO<sub>2</sub>가 연구되었습니다. 하지만 이 경우에도 일정 부피의 용액에 넣을 수 있는 박막 TiO<sub>2</sub>의 양이 제한적이며, 박막 TiO<sub>2</sub>로의 자외선 램프의 빛 조사에도 큰 제한을 받아 분말 광촉매에 비교해서 효율이 매우 떨어진다는 것을 알 수 있습니다.

그래서 박막 광촉매를 이용한 공기오염물 처리, 실내공기 정화, 건물외벽 처리와 같은 특수한 분야의 적용 연구가 많이 진행되게 됩니다. 그러나 공기처리의 경우에 있어서도 반응효율은 기존의 처리방법과 비교해 좋은 결과를 보이지 못했습니다.

## 둘째: 자외선 이용

광촉매반응에 TiO<sub>2</sub>가 많이 사용된 것은 안정성, 가격, 강한 산화력 등의 장점을 가지고 있기 때문입니다. 그런데 TiO<sub>2</sub>는 밴드갭이 3.2eV이므로 자외선 영역의 빛에서만 반응하는 한계가 있습니다. 친환경적 응용 측면에서 자외선램프를 이용하는 대신 태양광을 이용하려는 시도도 있었습니다. 그러나 태양광을 사용할 경우 광선 전체에서 자외선은 5% 미만이기 때문에 반응효율에 한계가 있습니다. 물론 이것이 나중에는 가시광선을 이용하는 광촉매 개발의 주요 이유가 된 것입니다.

## 셋째: 경제성

앞에서 설명 드린 것처럼, 기존의 수처리 방법에 비교해서 상대적 비교성능도 뒤떨어지고, 전기를 사용하여 자외선을 만들어야 하며, 사용한 광촉매를 회수하는 공정이 별도로 필요하다는 것은 결과적으로 경제성이 떨어진다고 말 할 수 있습니다. 단, 다른 수처리 방법과의 정확한 비교 결과를 본적은 없습니다만 자체 수행한 연구에서 광촉매반응이 다른 수처리방법 보다는 효율이 떨어진다는 것을 알 수 있었습니다.

제1세대(1972년~2000년) 연구기간의 주된 연구는 광촉매를 환경처리에 적용하고자 했으며, 또한 연구에 참여한 연구진들도 화학, 화공학 및 환경공학 분야가 주를 이루었던 것 같습니다. 제 기억으로는 광촉매가 환경처리에 적용되었다고 들은 적은 거의 없는 것 같습니다. 이는 앞에서 말씀드린 3가지 이유에서 보듯이 기존의 환경처리 기술과 비교해 장점이 없었기 때문인 것으로 생각됩니다. 물론 특수분야(타일, 공기청정기, 건물외벽 등)에 응용되기도 했지만 매우 미미한 정도였던 것 같습니다.

## 2. 제2세대(2000년~현재)

제1세대가 환경과 관련된 연구가 주를 이루었다고 하면, 제2세대부터는 solar energy conversion이라는 새로운 영역으로 진행되어, 가시광선을 이용한 광촉매반응 물분해 수소생산이라는 분야가 주를 이루게 된 것 같습니다.

재료 관련 연구자들이 광촉매 연구에 많이 참여하게 되어, 자외선이 아닌 가시광선에서도 광촉매반응을 일어나게 할 수 있는 새로운 광촉매 개발이 다양하게 진행되고 있으며, 가시광선 반응 광촉매의 응용도 물분해 수소생산이 주를 이루고 있는 것 같습니다. 이는 2000년대 중반부터 세계적으로 신재생에너지 연구가 주목을 받게 된 것 과도 관련이 있는 것 같습니다.

아래에 첨부한 사이트를 보시면 현재 진행되고 있는 광촉매 연구분야에 대한 자료를 찾아보실 수 있을 것 같습니다. 현재 광촉매를 이용한 환경분야 연구는 미국에서는 거의 찾아보기가 어렵습니다. 유럽, 일본이나 우리나라에서도 거의 같은 경우인 것 같습니다. 최근에 발간되는 논문을 보면 주로 중국이 주를 이루고 있으며, 대만 및 중동지역 등에서 논문을 내고 있는 정도입니다.

## 3. 광촉매는 재조명 받을 수 있을까?

결론적으로 말씀 드리면 광촉매는 광에너지 변환물질로 응용 가능성이 큰 물질임에는 틀림없습니다. 하지만 아직은 응용 및 활용 측면에서 극복해야 할 문제점들이 있는 것 같습니다. 가장 중요한 점은 "광촉매의 활성"이 어느 수준 이상으로 높아져야, 경제성을 확보할 수 있다는 것입니다. 근래에 많은 재료분야 연구원들이 광촉매 연구에 참여하고 있다는 것은 매우 고무적인 방향이라고 생각합니다. 기존의 광촉매를 능가하는 "**신개념 고효율 광촉매**"(경제성을 가지고 있어야 합니다.)가 개발된다면 환경 및 에너지 분야에서 재조명을 받아 활발한 연구가 진행될 수 있을 것으로 확신합니다.

광촉매가 현장에서 응용될 수 있는 기술로 재조명 받을 수 있기를 바라면서 마치도록 하겠습니다.

감사합니다.

Hugo Destailats

Environmental  
Chemistry

Home

CV

Research

Publications

In the media

Seminars and conferences

Pictures

## Research

Here I present a short overview of some of the problems we are currently studying:

[Indoor air cleaning with photocatalytic oxidation technologies](#)

[Ozone-driven chemistry in indoor environments](#)

[Indoor fate and transport of secondhand tobacco smoke](#)

### Indoor air cleaning with photocatalytic oxidation technologies

In many types of buildings, the indoor generated air pollutants of concern are primarily volatile organic compounds (VOCs) and various types of particles. Implementation of air cleaning technologies for both VOCs and particles may improve indoor air quality, or enable indoor air quality levels to be maintained with reduced outdoor air supply and concomitant energy savings. Air cleaning, unlike ventilation, also can reduce indoor exposures to outdoor pollutants.

Practical air cleaning technologies for aerosol particles are widely available, typically consisting of fibrous filters installed in incoming outdoor air and recirculated air streams. Air cleaning technologies for VOCs are less advanced, and little information is available on their effectiveness and practicality for use in heating, ventilating and air conditioning (HVAC) systems of buildings. One promising technology is ultraviolet photocatalytic air cleaning (UVPCO), which has been under development for a number of years. UVPCO devices utilize a honeycomb or similar high-surface monolith reactor coated with titanium dioxide (TiO<sub>2</sub>). The monolith is irradiated with ultraviolet light of either 254 nm (UVC) or 365 nm (UVA). Air flows through the monolith, where the VOCs adsorb reversibly on the photocatalyst and react. The semiconductor acts as a sensitizer for light-induced redox processes through an electron-hole separation upon absorption of a UV photon. Excited-state electrons and holes can recombine, remain trapped in metastable surface states or react with electron donors and acceptors adsorbed on the catalyst surface. The latter process initiates a series of oxidation steps conducting to the production of intermediate organic species and final inorganic products such as CO<sub>2</sub> and water. The complete oxidation to inorganic products, often referred to as mineralization, is the ultimate goal of the air cleaning process.

<http://www.public.asu.edu/~hdestail/research.htm>



# INTERNATIONAL CONFERENCE ON PHOTOCATALYTIC AND ADVANCED OXIDATION TECHNOLOGIES FOR THE TREATMENT OF WATER, AIR, SOIL AND SURFACES

**JULY 4-8, 2011**

[Introduction](#) [Committee](#) [Correspondence](#) [Topics](#) [Call for papers](#) [Guidelines for authors](#) [Call for exhibits](#) [Registration](#) [Accommodation](#) [Registration form](#)

## Topics to be covered

There has been remarkable progress in Advanced Oxidation Technologies (AOTs) in general and TiO<sub>2</sub> Photocatalysis in particular over the past three decades. The research and development in these areas have attracted a global interest from academia, government research laboratories and industry. In recent years, engineering firms have been paying considerable attention for the progress in the research and development in TiO<sub>2</sub> photocatalytic technologies for the treatment of water, air and surfaces. Similarly, they have been considering AOTs for the treatments of water and soil for the following reasons: (1) wider recognition of the superiority of the AOTs in degrading environmental compounds in aquatic and subsurface that are otherwise persistent, (2) commercial availability of the technologies through several vendors and manufacturers, and (3) improvements in the design of equipment that makes the cost of AOTs comparable to the cost of alternative technologies.

This international conference is designed to bring together interested professionals from universities, research institutions and industry to exchange information, views, experience and perspectives. It presents the most current findings generated at the laboratories of universities and research institutions, as well as in the field by the practitioners. Abstracts are being solicited in the following areas:

**Semiconductor Photocatalysis and Solar Energy Conversion  
Advanced Oxidation Technologies  
Contaminated Site Management/Sustainable Approaches to  
Remediation of Contaminated Land**

Note: you need Adobe Acrobat Reader to view documents, available free at [www.adobe.com](http://www.adobe.com)

**Photocatalysis and Solar Energy Conversion:  
Development of Materials and Nanomaterials**

*Daejeon, South Korea  
May 29-31, 2012*

[Brochure](#)

[Registration](#)

**Semiconductor Photocatalysis and Solar  
Energy Conversion**

*Crowne Plaza Jacksonville Riverfront,  
Jacksonville, Florida, USA  
November 12-15, 2012*

[Brochure](#)  
UNDER  
CONSTRUCTION

[Registration](#)  
UNDER  
CONSTRUCTION

**Advanced Oxidation Technologies for  
Treatment of Water, Air and Soil**

*Crowne Plaza Jacksonville Riverfront,  
Jacksonville, Florida, USA  
November 12-15, 2012*

[Brochure](#)  
UNDER  
CONSTRUCTION

[Registration](#)  
UNDER  
CONSTRUCTION

금년에 대전에서 열리는 학회입니다.





JEP



- JEP 2013
- JEP 2011
- JEP 2009

JEP 2011 : European Symposium on Photocatalysis - Cité Mondiale, Bordeaux, (France) - September, 29 & 30 2011. Photocatalysis and sustainable development: Industrial solutions for improving the quality of life.

[Consult the archives](#)



- ABOUT EPF
- NEWS / SCHEDULE
- PRESS
- DOWNLOAD
- MEMBERSHIP
- EUROPEAN NETWORK
- PARTNERS
- CONTACT EPF



Contact 00 33 02 31 96 61 32



## News / Schedule

[Detrimental cationic doping of titania in photocatalysis by chromium Cr3+](#)  
Article New Journal of Chemistry



[What is ultrafine or nano particulate titanium dioxide ?](#)  
To be consult



[3rd National Forum of ECO-COMPANIES](#)  
February 9, 2012 - Paris - 3rd National Forum on Eco-Businesses



[Photopaq workshop 2012](#)  
May 14-17, 2012 Porticcio - Corsica (France)



NEWSLETTER



ACADEMIC COMMITTEE



EUROPEAN NETWORK



EXTRANET MEMBERSHIP



Submit

enter your login and password to access to the extranet.

## Photocatalysis