

# 광촉매 나노입자를 이용한 섬유제품

김성호, 곽승엽  
서울대학교 재료공학부

## 1. 서론

광촉매(photocatalyst)는 빛에 의하여 작용하는 촉매 물질로서 항균, 방취, 유기물 분해, 수질 및 대기 개선 등의 환경분야와 물 분해에 의한 청정 에너지 생성 등의 다양한 분야에서 많은 주목을 받고 있으며, 이미 기본적인 특성에 대한 많은 연구가 수행되었다[1-3]. 광촉매와 섬유의 연계연구는 기존의 연구를 통해 밝혀낸 광촉매의 많은 유용한 특성들을 섬유에 도입하거나, 기존의 연구의 한계점을 섬유의 고유의 특성을 이용하여 극복하여 광촉매 고유의 특성을 극대화하는 방향으로 연구가 수행되고 있다. 본고에서는 가장 널리 이용되고 있는 이산화티탄(titanium dioxide,  $TiO_2$ ) 광촉매의 기본특성을 이해하고, 광촉매의 특성을 접목한 광촉매-섬유제품의 현재까지의 연구동향을 알아봄으로써, 섬유분야의 많은 지식을 가지고 있는 독자들에게 새로운 섬유제품 개발의 아이디어의 기회를 제시하고자 한다.

## 2. 광촉매

광촉매는  $ZnO$ ,  $CdS$ ,  $WO_3$ ,  $SrTiO_3$ ,  $CdSe$ ,  $KNbO_3$ ,  $TiO_2$  등과 같은 반도체성의 물질로서, 밴드갭 에너지(bandgap energy) 이상의 빛을 받으면 최외각대(valence band)의 전자가 전도대(conduction band)로 전이하여 음전하를 가지는 전자( $e^-$ )와 양전하를 갖는 정공( $h^+$ )을 생성하고 이들의 강한 환원작용과

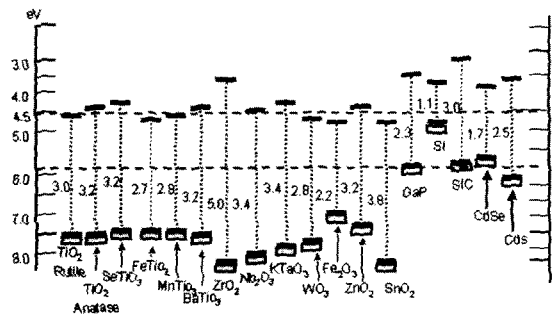


Figure 1. Valence and conduction band positions for various semiconductor photocatalysts.

산화작용에 의해 다양한 물질을 분해시키는 다양한 반응을 일으킨다(Figure 1). 다양한 광촉매 물질 중 밴드갭 에너지대가 수소와 산소의 발생전위 영역에 걸쳐 있어 산화·환원 반응이 동시에 가능하고 화학적으로 안정하여 내산성 및 내알칼리성이 우수하며, 무독성으로 인체에 무해하며, 그 자체로도 넓은 응용범위를 지니고 있어 널리 연구되고 있는 물질이  $TiO_2$ 이다.  $TiO_2$ 는 n형 반도체로서 아나타제(anatase), 루타일(rutile), 브루카이트(brookite)의 세 가지 결정형이 존재하며, 각 결정구조에 따라 물리적·화학적 성질이 조금씩 달라서 각각 서로 다른 특정 용도를 지니고 있으며 각종 유기물 분해특성을 중시하는 환경적 용도로의 응용에는 아나타제 구조가 우수한 활성을 지니는 것으로 여겨지고 있다. 아나타제 구조의  $TiO_2$ 의 밴드갭 에너지는 대략 3.2 eV (약 380 nm)로 이러한 빛을 조사하면 전자와 정공을 발생시키며 물과 산소와 반응하여 다양

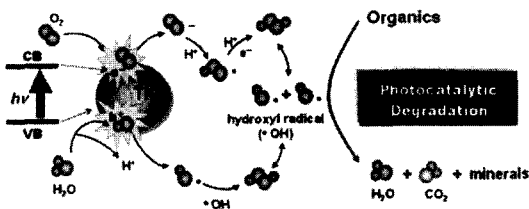


Figure 2. Schematic illustration for the TiO<sub>2</sub> photocatalysis.

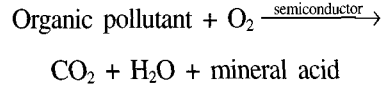
한 활성산소 및 라디칼을 형성하여 각종 유기물의 분해 및 미생물의 살균이 가능하다(Figure 2). 또한 광조사에 의해 입자의 표면의 가역적 구조변화를 통해 다양한 표면특성을 지니기도 한다.

지구의 대기 및 수질 오염에 대해 특별한 에너지를 가하지 않고 빛만으로 오염물질을 분해시킬 수 있는 유해 유기물의 광분해 특성, 각종 유해 미생물 및 병원균에 대한 광촉매의 살균 및 항균 특성 등의 TiO<sub>2</sub>의 다양한 장점은 여러 분야에 응용할 수 있다. 또한 초친수성과 양친매성 등의 특수한 표면 특성을 활용한 다양한 응용사례와 물을 광분해시켜 수소와 산소를 생산함으로써 차세대 에너지와 환경문제를 동시에 해결할 수 있다는 점에서 많은 주목을 받고 있으며, 기타 다양한 분야에서 응용(Table 1)이 가능할 것으로 기대되며, 이에 대한 간략한 특성을 알아본다.

2.1. 유기물 분해특성

광촉매에 빛을 조사하여 형성된 전자와 정공은

높은 반응성을 지니며 이에 의해 다음과 같이 각종 유기물이 이산화탄소, 물, 각종 무기산 등으로 분해가 가능하다[2].



이러한 분해메커니즘에 의해 다양한 저분자 유기물, 고분자, 염료, 농약 등의 다양한 물질들이 분해가 가능하다고 보고되고 있다(Table 2)[4-6]. 이러한 분해특성을 이용하여 물 속에 존재하는 각종 유해 물질을 제거하고자 수도물 및 폐수처리 공정에 응용연구가 많이 수행되었다. TiO<sub>2</sub> 광촉매를 이용하여 폐수를 처리할 경우 태양광만으로 폐수를 처리할 수 있어 폐수처리를 위한 에너지 소비가 별도로 들어가지 않으며, 2차 오염이 발생하지도 않고, 고가의 화학물질을 첨가시킬 필요도 없어 기존의 폐수처리법인 활성탄 흡착법, 탈기법, 고급 산화법 등과 비교하여 폐수처리에 있어 획기적인 방법으로 평가 받았다. 그러나 광촉매 나노입자를 물에 분산시켜 사용하던 기존의 연구들은 적용가능성은 확인하여 주었지만, 물과 분리공정이 어렵다는 단점이 발견되어 고정화에 대한 새로운 연구의 필요성이 제시하는 계기가 되었다.

광촉매는 정공의 뛰어난 산화력에 의해 각종 유기물 뿐만 아니라, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> 등의 각종 대기오염 물질을 제거하는데 있어서도 탁월한 효과를 갖는

Table 1. Applications of TiO<sub>2</sub> nanoparticle photocatalyst

Category	Applications
<b>Environmental</b> - photocatalytic decomposition - easy-cleaning and self-cleaning properties - super-hydrophilicity	- removal of organic and inorganic pollutants, water treatment, gas purification - external construction materials, lamp shade, bathroom tiles, road sign materials, various glassware, glass panel for solar cell, headlight - road and bathroom mirrors, window glass, safety helmet, optical lens, heat-exchanger for air-conditioner, car mirror
<b>Biological</b> - photocatalytic bactericidal effect	- photodynamic therapy, photo-disinfection devices, sanitation tiles, glass, and fabrics for health places
<b>Energy</b> - photoelectrochemical redox	- photoelectrochemical cell for electricity production and water splitting

**Table 2.** Some examples of TiO<sub>2</sub>-sensitized photomineralization of organic substrates

Class	Example
Alkanes	methane, isobutene, pentane, heptane, cyclohexane, paraffin
Haloalkanes	mono-, di-, tri-, and tetrachloromethane, tribromoethane, 1,1,1-trifluro-2,2,2-trichloroethane
Aliphatic alcohols	methanol, ethanol, isopropyl alcohol, glucose, sucrose
Aliphatic carboxylic acids	formic, ethanoic, dimethylethanoic, propanoic, oxalic acids
Alkenes	propene, cyclohexene
Haloalkenes	perchloroethene, 1,2-dichloroethene, 1,1,2-trichloroethene
Aromatics	benzene, naphthalene
Haloaromatics	chlorobenzene, 1,2-dichlorobenzene, bromobenzene
Nitrohaloaromatics	3,4-dichloronitrobenzene, dichloronitrobenzene
Phenols	phenol, hydroquinone, catechol, 4-methylcatechol, resorcinol, <i>o</i> -, <i>m</i> -, <i>p</i> -cresol
Halophenols	2-,3-,4-chlorophenol, pentachlorophenol, 4-fluorophenol, 3,4-difluorophenol
Aromatic carboxylic acids	benzoic, 4-aminobenzoic, phthalic, salicylic, <i>m</i> - and <i>p</i> -hydroxybenzoic, chlorohydroxybenzoic acids
Polymers	polyethylene, poly(vinyl chloride) (PVC)
Surfactants	sodium dodecylsulphate (SDS), polyethylene glycol, sodium dodecyl benzene sulphonate, trimethyl phosphate, tetrabutylammonium phosphate
Herbicides	Methyl viologen, atrazine, simazine, prometon, propertryne, bentazon
Pesticides	DDT, parathion, lindane
Dyes	methylene blue, rhodamine B, methyl orange, fluorescein

것으로 알려져 각종 공기청정기, 공기필터, 에어컨 공조기, 탈취시트 등에 이용되고 있다. 일본의 경우 광촉매 블록 및 타일을 제조하여 도로 및 고가도로 기둥, 터널 내벽에 부착시킴으로써 자동차 배기가스를 줄이고자 하는 많은 시도를 통해 적용가능성 및 실제적인 감소효과가 확인되었다. 또한 벤젠, 톨루엔, 알데히드 등으로 대표되는 실내공기의 오염물질인 휘발성 유기 화합물 (volatile organic compounds, VOCs)에 대한 분해능도 확인되어 새집증후군(sick house syndrome)에 대한 대책으로 검토되고 있다[7,8].

이 외에도 광촉매의 유기물 분해특성을 응용하여 광촉매를 유리표면에 코팅하여 부착된 기름 오염이 자연적으로 소멸되는 효과인 자정효과(self-cleaning)를 응용한 조명이 개발되었고, 실제로 일본에서는 고속도로의 터널 등에 이미 실용화하여 터널을 밝게 하고 위험한 작업을 줄이는 일에 도움이 되고 있다. 또한 유리컵의 내측에 광촉매를 코팅하여 수도

수의 악취의 근원이 되는 염소화합물을 제거하여 물을 맛있게 마시고 안전하게 마시게 하는 것도 상품화되었다. 또한 건축용 외장 재료의 표면에 TiO<sub>2</sub>와 같은 광촉매 박막을 코팅함으로써 유기화합물이 분해되고, 먼지 등이 용이하게 제거되는 광촉매의 셀프 클리닝 효과를 지닌 방오성의 건축자재가 개발되고 있다.

## 2.2. 미생물 살균 및 항균특성

광촉매 기술은 다양한 분야에서 응용이 기대되지만 섬유분야에 적용시 주목되는 효과중의 하나가 항균작용이다. 광촉매화 반응에 의해 발생한 수산화 라디칼과 과산화수소, 슈퍼옥사이드 이온 등과 같은 활성산소물질은 미생물의 세포막에 달라붙어 산화, 분해함으로써 세포막을 파괴하여 *Lactobacillus acidophilus* (gram-positive bacterium), *Escherchia coli* (gram-negative bacterium), *Saccharomyces cerevisiae* (yeast), *Chlorella vulgaris* (green algae), *Streptococcus*

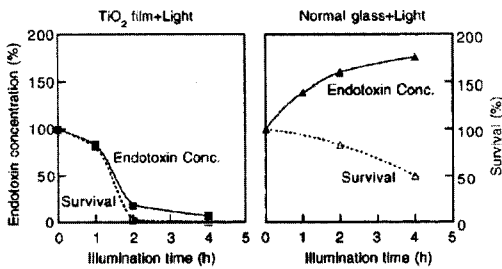


Figure 3. Concentration of the endotoxin and survival ratio of E. coli under black light illumination.

mutans 등과 같은 다양한 미생물을 살균하여 제거할 수 있다[9,10]. 특히 광촉매는 세균이나 바이러스처럼 최초에는 적지만 서서히 증가해 가는 것에는 더욱 큰 효과가 있다. TiO<sub>2</sub> 광촉매는 미생물을 살균할 뿐만 아니라 균이 사멸한 후에 발생하는 독성의 엔도톡신(Endotoxin) 물질까지도 분해할 수 있어 더욱 효과적인 것으로 알려졌다(Figure 3)[11]. 이것은 다른 항균제에는 없는 기능으로 대단히 주목을 받고 있다. 미생물뿐만 아니라 독성이 없는 특성을 이용하여 암 환자에게 주입시킨 후, 자외선을 쬐여주어 T24, HeLa 세포와 같은 암세포도 TiO<sub>2</sub> 광분해 반응에 제거가능함이 확인되었다.

박테리아 및 바이러스는 열처리, 자외선 처리, 항체 이용, 화학적 산화 등 다양한 방법에 의해 제거할 수 있다. 대표적인 예로서 염소 소독을 생각해 볼 수 있다. 이는 우수한 항균 특성에도 불구하고, 트리할로메탄과 각종 발암물질 등의 부산물을 생성시킨다. 또한 은계 항균제 등의 경우, 세균을 죽일 수는 있어도 그 잔해는 그대로 남아 오염을 일으키고, 종래의 항균제는 오염에 대해서는 무력하기 때문에 표면이 오염에 의해 덮히면 그 작용이 사라진다. 그러나 TiO<sub>2</sub>와 같은 광촉매는 유해한 부산물의 생성없이 이러한 오염까지도 분해할 수 있어 널리 이용될 수 있을 것으로 기대된다.

각종 병원균과 각종 박테리아를 살균하는 기능을 지니고 있는 광촉매는 타일제조에 응용되었다. 제조된 강력한 항균 타일은 병원의 수술실 등에 이용되기 시작했으며, 수술실내의 벽과 바닥을 모두 이

항균타일로 하면 소독하지 않아도 간단한 수세만으로 지금까지 없앨 수 없었던 부유균을 없앨 수 있다. 생활공간의 오염 등에 의해 발생한 지방산 및 단백질 등의 유기화합물은 방치하면 이들을 영양원으로 하는 세균이 번식하고, 벽이나 바닥에 미끄러운 점액이 생기게 된다. 광촉매 타일의 살균작용은 미끄럼을 방지하는 효과도 있다. 한편 미생물이 요소를 분해해서 암모니아를 발생함으로써 나타나는 화장실의 악취도 광촉매 타일을 이용하면 잡균이 사멸하고 요소의 분해가 억제되어, 암모니아의 발생이 대폭 감소할 수 있다. 광촉매의 유기물 분해작용을 응용하여 먼저 제품화된 것은 일본 TOTO사의 항균 타일이 있는데, 병원 등에 시공하여 실용 가치가 있는 기술로 평가되고 있다.

광촉매의 방오, 방취 및 살균효과를 공기청정기에 이용하여 탈취, 유기가스 제거 및 항균 등의 성능을 향상시킨 광촉매 필터를 사용하여 많은 기업에서 제품화되고 있다. 광촉매 필터의 개발 초기에는 가정용 공기청정기나 에어컨뿐만 아니라, 업무용의 대형 공기청정장치로도 응용되어 이용되고 있다.

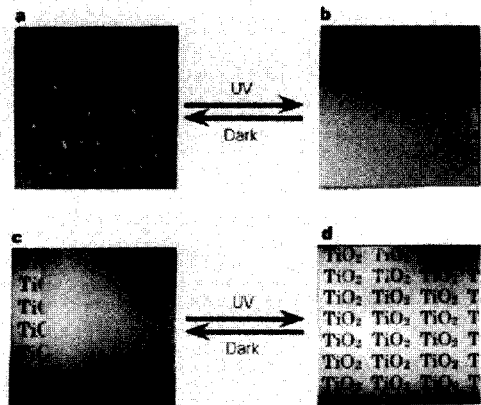


Figure 4. A hydrophobic surface before ultraviolet irradiation (a), hydrophilic surface on ultraviolet irradiation (b), a hydrophobic TiO<sub>2</sub>-coated glass to water vapor, (c) and an antifogging surface created by UV irradiation, (d).

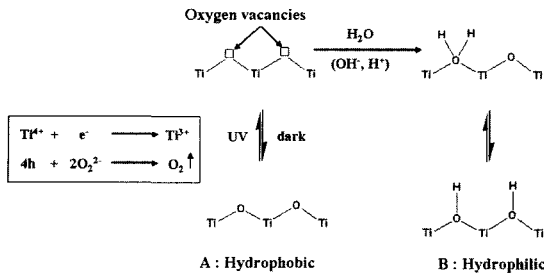


Figure 5. Mechanism of super-hydrophilicity of TiO<sub>2</sub> surface.

### 2.3. 초친수성

TiO<sub>2</sub> 광촉매의 표면에 자외선을 조사하면 앞에서 설명한 바와 같이 유기물 분해와 미생물의 살균 등과 같은 분해작용뿐만 아니라, 표면의 구조가 변하여 친수성이 극대화된 표면을 얻을 수 있음이 밝혀졌다(Figure 4)[12-14]. 이는 자외선에 의해 표면산소의 결합이 형성되어 Ti<sup>4+</sup>가 Ti<sup>3+</sup>로 전환되고, 이러한 Ti<sup>3+</sup>는 주변의 물 분자의 흡착을 용이하게 함에 의한 것으로 설명되고 있다(Figure 5). 이는 친수성이 좋아지는 효과를 발휘하게 된다. 동시에 초친수성을 형성하지 않는 부분은 친유성을 지니게 되어 TiO<sub>2</sub> 코팅된 표면은 친수성과 친유성을 동시에 지니는 양친매성을 지니는 것으로 보고된다. 이러한 특성은 자외선을 제거하면 서서히 원래 상태로 돌아가는 것으로 보고되고, 햇빛에 의한 자외선으로도 충분히 양친매성이 유지가 가능한 것으로 보고된다. 이러한 양친매성으로 인해 얻을 수 있는 성질이 김서림 방지효과(antifogging effect)이고, 이를 통해 자정효과도 얻을 수 있다. 이러한 초친수성에 대한 응용연구도 매우 빠른 속도로 진행되어 각종 유리, 거울, PET 필름 등에 광촉매를 코팅하는 기술이 확립되었고, 방오성 외장용품이나 자동차 거울의 우천시 시계확보를 목적으로 한 제품이 상용화되고 있고, 향후에는 콘택트 렌즈 등의 다양한 분야에 활용될 것으로 예상된다.

일반적으로 물질의 표면에 유기물이 흡착되어 소수성을 띠게 되면 추가적인 오염물질의 흡착을 가속화시키며, 오염물질의 제거를 어렵게 한다. 그런데 광

촉매 표면의 경우는 자외선을 조사하면 광촉매 활성을 일으켜 표면에 흡착, 오염된 유기물을 분해하여 친수성을 유지하며, 추가적인 오염물의 흡착도 어렵게 한다. 이러한 표면특성 및 유기물 분해특성에 기인하는 TiO<sub>2</sub> 입자의 초친수성을 이용하여 일본의 TOTO사는 먼지 및 자동차 배기가스로 오염되어 도시미관을 해치는 차음벽에 적용하여 오염물질을 물만으로 청소할 수 있는 차음벽을 제품화했으며, 자동차 바다용 스프레이를 개발하여 세제 없이 기존의 물 사용량의 1/10로 손쉽게 세차할 수 있도록 했다.

빛에 의한 표면특성 제어에 있어서 초친수성 외에 새로운 연구가 진행되고 있다. 빛에 의해 친수화하는 것에 완전히 반대로 소수화하는 현상인 초발수성을 발견하였다. 물과의 접촉각이 10도 이상의 초발수 코팅은, 착설방지, 방오성이나 방청성 등의 기능에서부터 착설방지 건재나 시계확보를 위한 자동차용 유리 등 폭넓은 용도가 기대되고 있다. 더 나아가 파장을 변화시킴에 따라 친수성과 소수성을 바꾸는 것도 가능하다는 것이 밝혀졌다.

### 3. 광촉매 도입형 섬유제품

광촉매 입자의 우수한 특성을 섬유제품에 도입하기 위해서는 광촉매의 효율을 효과적으로 유지하면서 TiO<sub>2</sub>를 고정화하는 방법이 필요하다. 앞으로 많은 연구가 수행되어 많은 과제가 풀려야 한다. 환경문제에 적용되는 TiO<sub>2</sub> 분말을 화수 및 입자에 의한 광차단 현상이 문제 해결을 위해 일반적으로 사용되는 고정화하고 코팅하는 방법은 다음과 같다. 우수한 내열성을 지닌 유리, 금속, 세라믹스 등의 재료에 TiO<sub>2</sub>를 고정화 하는 기술은 고전적 방법에 의해 가능하며, 열선, 반사유리나 타일 등에 실용화되어 있다. 400 °C 이상의 고온에서 가열된 기체상에 유기계 티탄 화합물을 미스트 상이나 증기상으로 분무하고 소성시켜 막을 형성하거나, 유기티탄 화합물 용액을 도포한 후 건조, 소성하여 막을 이

루는 방법 등이 있다. 하지만, 이러한 기술들을 열에 약한 섬유나 고분자에 적용하기는 많은 제한이 따른다[15].

섬유나 고분자와 같은 열에 약한 물질들에 현재 적용되고 있는 방법은 상온 경화가 가능한 바인더를 사용하거나, 종이나 섬유의 원료에 광촉매를 녹여 제품에 첨가하는 방법, 그리고 표면과의 상호작용력을 이용하여 입자를 결합시키는 방법 등이 이용되고 있다. 하지만 TiO<sub>2</sub> 광촉매에 자외선이 조사되면, 주변의 거의 모든 유기물이 분해되기 때문에 섬유에 직접 적용하거나, 유기계 바인더를 적용하는데 한계가 따르며, 무기계 접착제를 사용하면 TiO<sub>2</sub>에 의한 광촉매 분해에 대한 내구성이 있지만, 접착강도를 향상시키기 위해서는 첨가량을 증가시킬 필요가 있고, 무기계 접착제가 TiO<sub>2</sub> 표면을 덮어 결과적으로 광촉매의 활성이 크게 저하되는 문제점을 가지고 있다. 본 내용에서는 논문 및 특허에서 광촉매를 도입한 섬유제품의 사례를 들어 앞으로의 기술응용을 위한 아이디어를 제시하고자 한다.

### 3.1. 플라스틱 광섬유 광촉매 반응기[16-18]

광촉매를 이용하여 다양한 휘발성유기화합물을 효과적으로 분해하여 제거할 수 있음은 이미 확인하

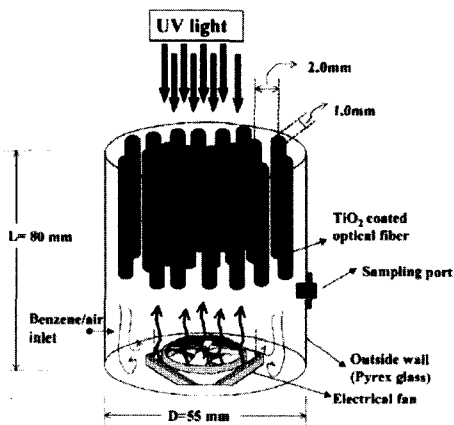


Figure 6. Schematic diagram of the optical fiber bundled array photocatalytic reactor system.

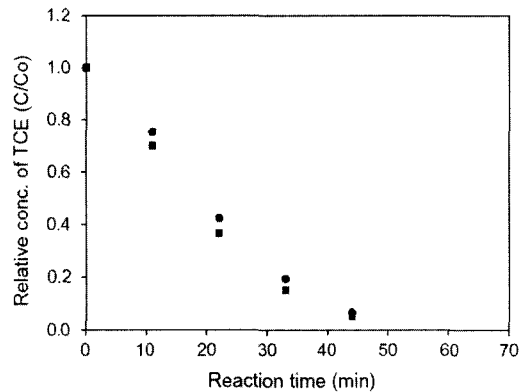


Figure 7. Removal efficiencies of optic-fiber photochemical reactor.

였다. 하지만, 이러한 기체물질 제거공정에 TiO<sub>2</sub> 입자의 특성을 사용하기 위해서는 고정화하는 과정이 필수적이다. 하지만 기존의 평면 반응기에 광촉매를 고정화시킬 경우 표면적의 감소에 의한 효율저하는 불가피하였다. 이러한 효율향상을 위해 단위면적당 표면적이 큰 섬유의 특성이 이용되었다. 광섬유에 TiO<sub>2</sub>를 코팅하면 광섬유를 통해 빛의 조사가 가능하여 장소의 제한없이 빛 손실없이 다양한 공정에 광분해 공정을 도입할 수 있다. 휘발성유기화합물의 효과적인 분해 및 제거를 위해 플라스틱 광섬유의 표피층을 아세트론 용매에 녹여 제거한 후, 증류수로 씻고, 광섬유를 pH 4.5의 5% 농도의 TiO<sub>2</sub> (Degussa P25) 슬러리에 담근 후, 이를 상온에서 24 시간동안 건조하여 광섬유 광촉매 반응기를 제조하였다(Figure 6). 제조된 광섬유 광촉매 반응기는 빛의 손실없이 아세트알데히드, 포름알데히드, 아세트산, 트리클로로에틸렌 등에 대한 우수한 제거효율을 나타내었다(Figure 7).

### 3.2. 섬유 매트릭스를 이용한 광촉매 함유 종이[19]

각종 가구 및 건축재로부터 발생하는 휘발성유기화합물은 새집증후군으로 대표되는 각종 질병을 야기하여 사회적 문제를 일으키고 있다. 이를 개선하기 위해 다양한 TiO<sub>2</sub> 도입 물질들에 대한 연구가 수행되고 있다. TiO<sub>2</sub> 함유 종이도 그러한 예로서 각

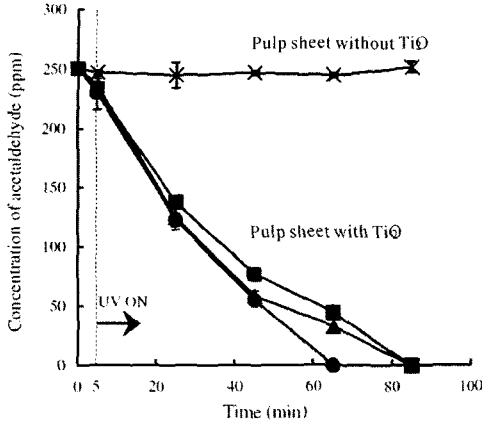


Figure 8. Photocatalytic removal of acetaldehyde by TiO<sub>2</sub> sheet under UV irradiation.

중 유해물질에 대한 제거효율을 보여주기는 했지만, 광촉매 분해반응에 의한 유기물 펄프섬유가 분해되는 단점을 보여주었다. 이러한 종이의 성능저하를 막기 위해 무기섬유에 광촉매를 결합시킨 후, 이를 유기물로 이루어진 펄프제조 공정에 섞은 후, 종이를 제조하였다. 이러한 공정을 거쳐 합성한 광촉매 함유 종이는 사용기간에 기계적 강도가 떨어지는 현상이 발생하지 않았고, 유해 유기물질에 대한 우수한 제거효율을 보여주었다(Figure 8).

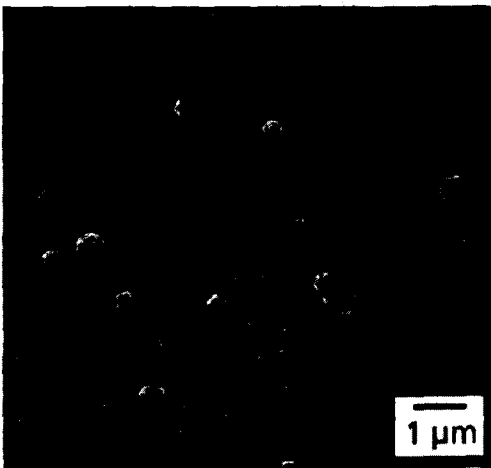


Figure 9. Microscopic image of a hollow fiber after exposure to TiO<sub>2</sub> solution.

### 3.3. 하이브리드 유기 무기 섬유[20,21]

스퍼터링과 같은 진공기반 기술은 섬유와 같은 복잡한 구조에 적용하기에는 한계가 있어 섬유와 같이 복잡한 구조에 새롭게 제시된 방법이 자기집합 원리에 기반을 둔 액상 침전법이다. 표면처리를 통해 광촉매 결합이 용이하도록 개질한 Ormocer® 중공섬유에 TiO<sub>2</sub> 입자가 도입된 하이브리드 유기·무기 섬유를 제조하였다. 이를 위해 표면을 아황산나트륨 수용액에 80 °C에 60분 동안 담가 표면을 수산화 처리한 후, TiO<sub>2</sub> 코팅액에 담가 입자가 코팅된 하이브리드 유기·무기 섬유를 성공적으로 합성하였다. TiO<sub>2</sub> 코팅액은 (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>TiF<sub>6</sub>와 H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>를 각각 증류수에 잘 녹여 혼합한 후, HCl을 이용하여 pH 2.88로 조절하여 제조하였고, 여기에 중공사 섬유를 50 °C에서 12시간 동안 담가놓으면 TiO<sub>2</sub>가 코팅된 하이브리드를 얻을 수 있다(Figure 9). 하이브리드 유기·무기 섬유는 동일한 방법에 의해 합성된 TiO<sub>2</sub> 입자에 비해 넓은 표면적을 얻을 수 있었기에 의해 높은 광촉매 활성을 보여 주었다.

### 4. 결론

최근 웰빙(well-being) 바람과 함께 보다 높은 삶의 질에 대한 수요가 높아져가고 있으며, 과학기술 및 산업현장에서도 이를 충족시킬 수 있는 새로운 기술의 연구 및 개발이 한창이다. 기존의 단순한 옷의 기능에서 한 단계 더 발전한 건강기능성 섬유도 이러한 맥락에서 이해할 수 있을 것이다. 광촉매는 유기물 분해특성, 항균특성, 초친수성 등의 특성을 지니고 있어, 섬유산업에 적절히 적용된다면 새로운 기능성의 섬유제품 개발 가능성을 지니고 있다. 하지만, 아직까지도 광촉매 도입방법 및 사후안정성 등 신물질의 적용을 제한하는 한계점이 많이 발견되어 실질적인 섬유제품으로의 응용단계에는 이르지 못하고 있지만, 몇몇 제약이 해결되면 주변의 오염으로부터 자유로운 자기정화가 가능한 스마트한 섬유제품, 미생물의 공격으로부터 사용자를 보

호하는 항균성의 옷, 속건성 및 흡수성이 아주 좋은 의류 등의 새로운 제품의 개발이 가능하리라 기대된다.

**참고문헌**

1. A. Fujishima, K. Hashimoto, and T. Watanabe, "TiO<sub>2</sub> Photocatalysis Fundamentals and Applications", 1999.
2. A. Mills and S. L. Hunte, J. Photochem. Photobiol. A: Chem., **108**, 1 (1997).
3. M. R. Hoffmann, S. T. Martin, W. Choi, and D. W. Bahnemann, Chem. Rev. **95**, 69 (1995).
4. N. Serpone, E. Pelizzetti (Ed.), "Photocatalysis: Fundamentals and Applications", Wiley, New York, 1989.
5. M. A. Fox and M. T. Dulay, Chem. Rev. **93**, 341 (1993).
6. D. Ollis, H. El-Akabi (Ed), "Photocatalytic Purification and Treatment of Water and Air", Elsevier, New York, 1993.
7. A. P. Jones, Soc. Sci. Med. **47**, 755 (1998).
8. W. J. Kim, N. Terada, T. Nomura, R. Takahashi, S. D. Lee, J. H. Park, and A. Kondo, Clin. Exp. Allergy, **32**, 287 (2002).
9. T. Matsunaga, R. Tomoda, T. Nakajima, and H. Wake, FEMS Microbiol. Lett., **29**, 211 (1985).
10. Y. Kikuchi, K. Sunada, T. Iyoda, K. Hashimoto, and A.

- Fujishima, J. Photochem. Photobiol. A: Chem., **106**, 51 (1997).
11. K. Sunada, Y. Kikuchi, K. Hashimoto, and A. Fujishima, Environ. Sci. Technol., **32**, 726 (1998).
12. R. Wang, K. Hashimoto, A. Fujishima, M. Chikuni, E. Kojima, A. Kitamura, M. Shimohigoshi, and T. Watanabe, Nature, **388**, 431 (1997).
13. M. Miyauchi, N. Kieda, S. Hishita, T. Mitsuhashi, A. Nakajima, T. Watanabe, and K. Hashimoto, Surf. Sci., **511**, 401 (2002).
14. K. Guan, B. Lu, and Y. Yin, Surf. Coat. Technol., **173**, 219 (2003).
15. D.-W. Shin, B.-J. Kim, and Y.-T. Kim, Prospec. Indus. Chem. **4**, 18 (2001).
16. N. J. Peill, L. Bourne, and M. R. Hoffmann, J. Photochem. Photobiol. A: Chem., **108**, 221 (1997).
17. H. Joo, H. Jeong, M. Jeon, and I. Moon, Sol. Energy. Mat. Sol. Cells. **79**, 93 (2003).
18. W. Wang and Y. Ku, J. Photochem. Photobiol. A: Chem., **159**, 47 (2003).
19. Y. Iguchi, H. Ichiura, T. Kitaoka, and H. Tanaka, Chemosphere, **53**, 1193 (2003).
20. K. Koumoto, S. Seo, T. Sugiyama, W. S. Seo, and W. J. Dressick, Chem. Mater. **11**, 2305 (1999).
21. B. Hergib and P. Lobmann, J. Photochem. Photobiol. A: Chem., **163**, 359 (2004).

**저자 프로필**



**김 성 호**

1995-1999. 서울대학교 응용화학부(학사)  
 1999-2001. 서울대학교 재료공학부(석사)  
 2001-현재. 서울대학교 재료공학부  
 박사과정



**박 승 엽**

1983-1987. 서울대학교 섬유공학과(학사)  
 1987-1989. 에크론대학교 고분자공학과  
 (석사)  
 1989-1992. 에크론대학교 고분자공학과  
 (박사)  
 1993-1996. 한국과학기술연구원(KIST)  
 (선임연구원)  
 1996-현재. 서울대학교 재료공학부 조교수,  
 부교수