



## 가시광촉매를 이용한 자동차 내장재로부터 발생하는 VOCs의 저감연구

최세영\* · 양승기†

\*청주대학교 이공대학 응용화학과, 넥스켐  
접수일(2013년 6월 3일), 수정일(2013년 6월 21일), 게재확정일(2013년 6월 27일)

### A Study on the Reduction of VOCs Generated from Vehicle Interior Parts and Materials Using Visible-light Responsive Photocatalyst

Sei-Young Choi\* and Seung-Gi Yang†

\*Department of Applied Chemistry, Cheongju University, Cheongju 360-764, Korea  
Nexchem, Cheongju 361-817, Korea

(Received June 3, 2013, Revised June 21, 2013, Accepted June 27, 2013)

**요약** : 가시광촉매를 이용하여 자동차 내장재에서 발생하는 VOCs의 저감 효과를 알아보았다. 가시광촉매는 sol-gel 법으로 제조하였으며 UV-vis peak가 420 nm에서 적색이동 되어 가시광영역에서 감응하는 것으로 나타났다. 이러한 특성을 갖는 가시광촉매를 자동차 내장재에 코팅처리하고, 자동차 내장재에서 발생하는 VOCs를 측정된 결과 분해·저감율이 우수하게 나타났다.

**ABSTRACT** : On this study, visible-light responsive photocatalyst prepared by sol-gel method was evaluated the effect of the reduction of volatile organic compounds (VOCs) occurred in vehicle interior and its property was examined. According to UV/visible result, visible-light responsive photocatalyst was found that the UV-visible peak is red shift at 420nm, is sensitive in the visible light region. With vehicle interior parts and materials coated visible-light responsive photocatalyst, VOCs was measured by GC/MS. Measuring the VOCs generated from vehicle interior parts and materials, the reduction of VOCs was confirmed.

**Keywords** : visible-light responsive photocatalyst, VOCs, vehicle interior parts and materials, TiO<sub>2</sub>.

## I. 서 론

최근 새 자동차의 실내공기 오염 즉, ‘새차 증후군’이 새로운 실내공기 오염문제로 주목받고 있다. ‘새차 증후군’이란 새로 구입한 자동차 실내 내장재 시트, 계기판, 오디오 케이스, 전선 피복 등에 사용되는 PVC와 ABS 등 고분자 재료로 이루어진 자재와 인조피혁, 안전유리, 합성고무 그리고 내장재의 부착을 위하여 사용되는 접착제 등으로부터 자동차의 좁은 실내에 다종의 화학물질이 배출되어 복합적인 냄새에 의해 두통이나 메스꺼움 등 인체에 피해를 주는 것을 말한다.<sup>1</sup> 이러한 새차증후군 문제를 해결하기 위해서 여러 방법들이 연구되고 있으며 그 중 하나의 방법으로 광촉매를 응용한 연구가 진행되고 있다.<sup>2</sup>

광촉매는 1972년에 Nature지에 소개된 혼다-후지시마효과 의 연구를 시작으로 본격적으로 학계에 관심을 받게 되었으며, 그 이후 광촉매를 이용한 환경오염 물질의 분해, 기능성(초 친수성, 자정, 항균 기능 등) 코팅 소재로서의 이용 등 여러

방면으로 연구가 진행되고 있다.<sup>3-5</sup>

광촉매로는 ZnO, WO<sub>3</sub>, SnO<sub>2</sub>, ZrO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub> 등의 금속 산화물이 이용되고 있지만 그 중에서도 이산화티타늄 (TiO<sub>2</sub>)을 가장 널리 사용한다.<sup>6</sup>

광촉매는 band gap이상의 에너지를 흡수하여 가전도대 (valence band ; VB)에서 전도대 (conduction band ; CB)로 전자가 여기 되면서 구동된다. 광촉매에 빛에너지를 조사하면 가전도대의 전자가 전도대로 여기(exited)되어 전도대에는 전자가 머물게 되고 가전도대에는 전자가 빠져나간 자리에 정공 (hole)이 생성된다. 이 전자와 정공은 전자-정공쌍(charge electron-hole pairs)으로 존재하고 강력한 산화력과 환원력을 가지며 유기물을 분해한다.<sup>7</sup>

일반적인 광촉매는 자외선 감응형으로 400 nm 이하의 파장을 갖는 자외선영역에서 활성화 되어 광촉매 작용을 하기 때문에 형광등을 사용하는 실내에서는 적용이 제한적이었다. 따라서 형광등, 백열등의 빛과 같은 가시광영역에서도 감응하는 가시광촉매에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 가시광촉매를 제조하기 위해서는 TiO<sub>2</sub>에 전이금속 도핑, 리간드의 첨가,

† Corresponding Author. E-mail: yangsg86@nate.com

광감응체의 흡착 및 비금속 음이온을 도핑하는 방법이 있으며,<sup>8</sup> 그 중 가장 많이 사용되는 방법으로 백금 (Pt), 알루미늄 (Al), 크롬 (Cr) 등의 금속을 이용하여 전자를 trap하여 전자-정공의 재결합 속도를 늦춰 가시광하에서의 광활성을 향상시키는 방법이 있다.<sup>2</sup>

본 연구에서는 우리 인류가 맞이하고 있는 환경문제 특히 실내공기질, 수질오염, 대기오염 문제 해결에 큰 역할이 기대되고 있는 가시광촉매를 자동차 내장재에 적용하여 자동차 내장재에서 발생하는 VOCs의 분해·저감효과를 확인하고자 한다. 그리고 가시광촉매는 sol-gel법을 이용하여 TiO<sub>2</sub>에 전이 금속이온을 도핑하여 제조하고, 이들을 자동차 내장재에 코팅하여 VOCs 및 폼알데히드의 저감특성에 관하여 연구하였다.

## II. 실 험

### 1. 가시광촉매의 제조

본 연구에서 가시광촉매는 TiO<sub>2</sub>의 전구체인 TTIP (titanium tetraisopropoxide, Junsei, 99.9%)를 이용하여 sol-gel법으로 제조하였으며 가시광촉매의 광활성을 향상시키기 위하여 Pt 금속을 도핑하였고 Pt 금속의 전구체로 H<sub>2</sub>PtCl<sub>6</sub> (chloroplatinic acid hexahydrate A.C.S reagent, Sigma Aldrich)를 사용하였다. 균일한 혼합을 위해 용매로 IPA (isopropyl alcohol, Samchun, 99.9%)을 사용하였고 침전의 생성이나 액상분리를 방지하기 위해 질산 (HNO<sub>3</sub>, Samchun, 60.0%)을 사용하였다. 제조방법은 1 M의 TTIP를 IPA 24 ml에 혼합하여 76 ml의 증류수에 서서히 떨어뜨려 반응시켰다. 이때 HNO<sub>3</sub>을 [H<sup>+</sup>]/[Ti<sup>4+</sup>]=0.4가 되도록 첨가하였으며 0.1 M H<sub>2</sub>PtCl<sub>6</sub> 용액 0.5 ml를 첨가하여 90°C의 온도에서 12시간 반응시켜 제조하였다.

### 2. 가시광촉매의 물성분석

#### 2.1. SEM 분석

본 연구에서 제조한 가시광촉매의 입자형상을 알아보기 위해서 scanning electron microscope (SEM)분석을 하였다. 또한 본 연구에서 제조한 가시광촉매와 전 세계적으로 상업적으로 제조되어 가장 널리 사용하고 있는 TiO<sub>2</sub> 광촉매인 Degussa P-25를 전자현미경 (JEOL사 JSM-6200)으로 비교·분석하였다.

#### 2.2. UV-vis 분석

본 연구에서 제조된 가시광촉매의 가시광선 흡수율을 평가하기 위해서 UV-Vis 분석을 하였다. UV/VIS spectrophotometer는 IM Technology사 UV/VIS spectrophotometer Optizen 2120 UV를 사용하였으며, 파장 300~700 nm에서 가시광촉매의 흡광도를 측정하였다.

**Table 1. Operation condition for XRD analysis**

Scan menu	Range
X-ray source	CuK $\alpha$
Voltage	40 kV
Start angle	20°
End angle	80°
Scan speed	35.4 °/sec

### 2.3. 표면 접촉각 측정

본 연구에서 sol-gel법으로 제조한 가시광촉매의 친수성을 알아보기 위해서 표면 접촉각을 측정하였다. Slide glass (75 × 25 × 2 mm)를 증류수와 염산, 에탄올로 2~3회 세척을 하고 세척한 slide glass에 가시광촉매를 딥코팅법으로 코팅하여 전기로에서 열처리한 다음, 이를 형광등에 1시간 조사한 후, SEO사의 SEO 300A 모델로 표면 접촉각을 측정하였다.

### 2.4. X-선 회절 분석

본 연구에서 제조한 가시광촉매의 결정구조 및 성분을 알아보기 위해 X-ray diffraction (XRD)분석을 하였다. XRD는 Bruker사의 Model D8 Discover with GADDS로 분석하였고, 분석조건은 Table 1과 같다.

## 3. 가시광촉매를 처리한 자동차 내장재의 특성

### 3.1 자동차 내장재 VOCs의 분석

자동차 내장재에서 발생하는 VOCs의 저감효과를 알아보기 위해 자동차 내장재로는 floor carpet용 단섬유, nylon-polyester 복합섬유, footrest용 PVC, seat cover용 lather의 4종을 사용하였으며 표면적이 36 cm<sup>2</sup>이 되도록 시험편을 절단하였다. 시험편은 무처리 시험편과 가시광촉매를 코팅처리하여 상온에서 2시간 건조시킨 시험편을 각각 준비하고 국내 H사의 기술표준 MS-300-55 “부품의 VOC 시험방법”에 준거하여 시험을 진행하였다. Tedlar bag 내부에 가시광촉매를 코팅처리한 시험편과 처리하지 않은 시험편을 각각 넣고 충전가스를 다르게 질소대신 공기를 주입하였다. 그 이유는 가시광촉매가 빛에너지를 받으면 가시광촉매 표면에서 전자(e<sup>-</sup>)가 튀어 나와 공기 중의 산소(O<sub>2</sub>)와 결합해 superoxide anion을 만들고, 전자가 튀어나온 가시광촉매 표면은 정공(h<sup>+</sup>)이 형성되어 공기 중의 수분(H<sub>2</sub>O)으로부터 전자를 빼앗고, 전자를 빼앗긴 수분은 hydroxy radical이 생성된다. 이렇게 생성된 superoxide anion과 hydroxy radical이 VOCs 및 폼알데히드 등을 분해하여 무해한 이산화탄소와 수분으로 바꾸어 주는 반응 때문에 불활성가스인 질소 대신 공기를 주입한 것이다.

**Table 2. Weather-O-meter test condition**

Cycle condition	120 min (UV) → 18 min (UV+Precipitation)
Test time	200 hr
UV lamp	Xenon Arc type

**Table 3. Analysis condition of GC/MS.**

Column	HP5-MS (0.32 mm × 60 m, 1 μm)
Oven temperature	Initial temp : 25°C Final temp : 280°C Temp. program : 0.5°C/min (60°C, 5min) → 1°C/min (100°C) → 10°C/min (280°C)
Split	20 : 1
Mobile phase Gas	He
Velocity of Flow	1.0 mL/min
MS Interface temp	280°C
Mass range	29~550

Tedlar bag을 65°C의 오븐에 넣고 2시간 동안 가열한 후 꺼내어 상온에서 30분간 방치하여 냉각시킨 다음 Tedlar bag이 완전히 충전되도록 공기를 채운다. Tedlar bag에 DNPH 카트리지를 연결하여 유속 0.5 L/min으로 1.5 L의 시료를 채취한 후, 바로 TENAX-TA가 충전된 흡착관을 연결하여 유속 0.1 L/min으로 1 L 채취하였다. 채취한 흡착관을 280°C로 가열-탈착하여 TD-GC/MSD로 분석하였으며, 그 분석조건은 Table 3에 나타내었다.

### 3.2. 부착성과 내구성 측정

자동차 내장재에 코팅한 가시광촉매의 부착성과 내구성을 측정하기 위해 Weather-O-meter를 이용하여 Table 2의 조건으로 시험한 다음 가시광촉매의 가스분해성능을 비교하였다. 시험편은 자동차 내장재 중 비교적 많이 사용되는 재료인 PVC에 가시광촉매를 코팅하여 사용하였고, Weather-O-meter test하여 전과 후의 PVC 시험편의 유해가스 분해효과를 알아보았다. 측정대상 가스는 폼알데히드를 사용하였고 gastec detector tube method (No. 91L, Gastec사)로 측정하였다.

## III. 결과 및 고찰

### 1. 가시광촉매의 분석

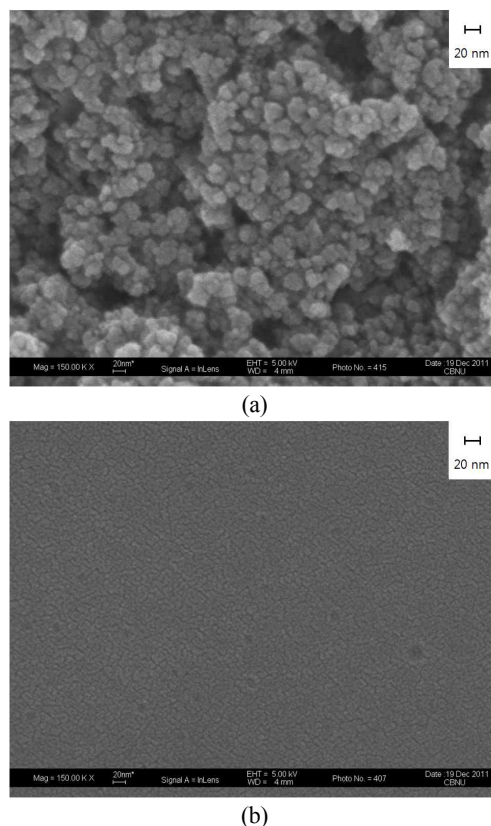
#### 1.1. SEM 분석

일반 광촉매로서 전세계적으로 가장 널리 사용하고 있는

Degussa P-25와 본 연구에서 제조한 가시광촉매에 대하여 SEM을 이용하여 비교-분석하였다. 그 결과를 Figure 1에 나타냈다 Figure 1에서 보는 바와 같이 Degussa P-25(a)는 구형 입자로 그 크기가 20~30 nm 정도를 나타냈고, 본 연구에서 제조한 가시광촉매(b)는 입자의 형상이 나타나지 않았으며 도포-코팅되었을 때 박막의 film형태인 것을 확인할 수 있었다. 이는 Degussa P-25가 구형 입자로 묻쳐있어서 부착력이 약할 것으로 판단되는 것과 다르게 가시광촉매는 판상으로 고르게 분산-코팅되어 기판에 강하게 부착되어 있는 것으로 판단되었다.

#### 1.2. UV-Vis 분석

자외선감응형인 일반적인 TiO<sub>2</sub>계 광촉매는 380 nm이하의 파장영역에서 활성화되어 광촉매 작용을 하게 되지만, 가시광촉매는 380~750 nm의 파장영역에서 활성화된다. 또한 가시광영역에서 흡수피크가 높을수록 가시광에 대한 응답성이 높아지고 VOCs 물질의 분해효율 또한 높아지게 되는 것이다.<sup>9</sup> 본 연구에서 제조한 가시광촉매를 UV/VIS spectrophotometer로 흡수피크를 분석한 결과를 Figure 2에 나타내었다. Figure 2에서 보는 바와 같이 본 연구에서 제조한 가시광촉매는 약 420 nm에서 흡수피크가 나타났으며, 자외선 영역에서 가시광



**Figure 1.** SEM image of photocatalyst ; (a) Degussa P-25 , and (b) visible-light responsive photocatalyst prepared from sol-gel method.

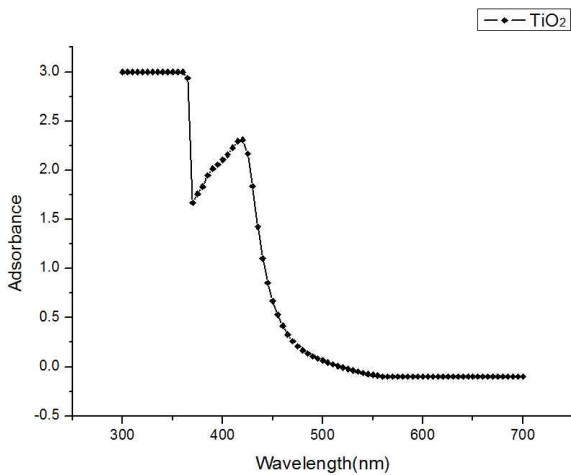


Figure 2. UV-vis absorbance of photocatalyst.

영역으로 red shift<sup>10</sup>된 것을 확인하였다. Red shift란 본래의 파장에서 장파장, 즉 적외선쪽으로 흡수띠가 이동하는 현상을 말하는데 Figure 2에서 이를 관찰 할 수 있었다. 이와 같이 본 연구에서 제조한 가시광촉매는 약 420 nm이상의 에너지를 가지는 가시광영역의 빛을 조사하면 가시광촉매는 광분해 반응이 활성화 되어 유기화합물인 VOCs의 분해반응도 효과적으로 일어나는 것으로 사료된다.

1.3. 표면 접촉각 측정

본 연구에서 제조한 가시광촉매를 처리한 표면의 친수성을 알아보기 위하여 접촉각 측정을 통하여 가시광촉매의 코팅처리 전과 후를 비교한 결과를 Table 4와 Figure 3에 나타내었다.

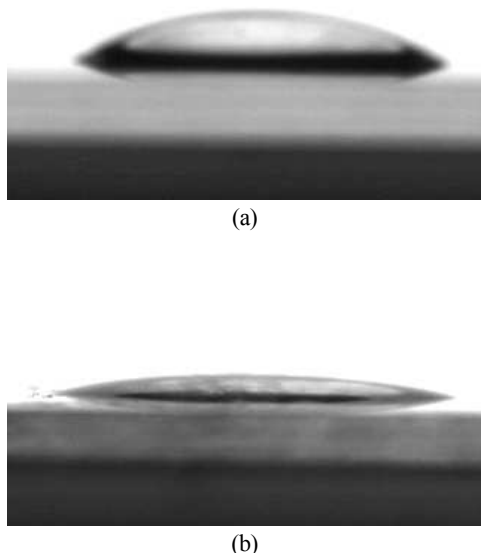


Figure 3. Measurement of contact angle of (a) slide glass and (b) slide glass coated photocatalyst.

Table 4. Measurement of contact angle

unit : degree	
	contact angle
Slide glass	38
Slide glass coated with Photocatalyst	< 10

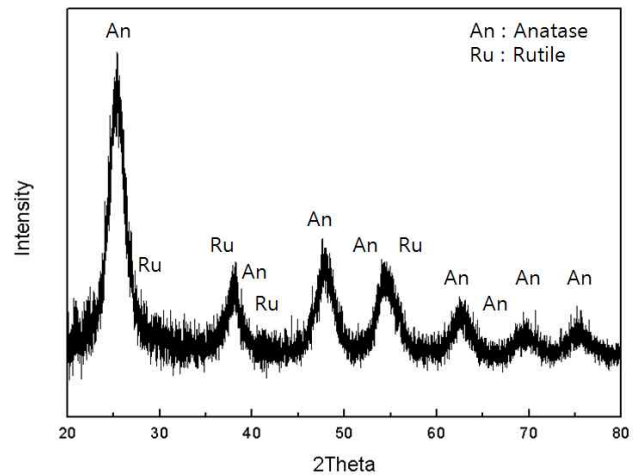


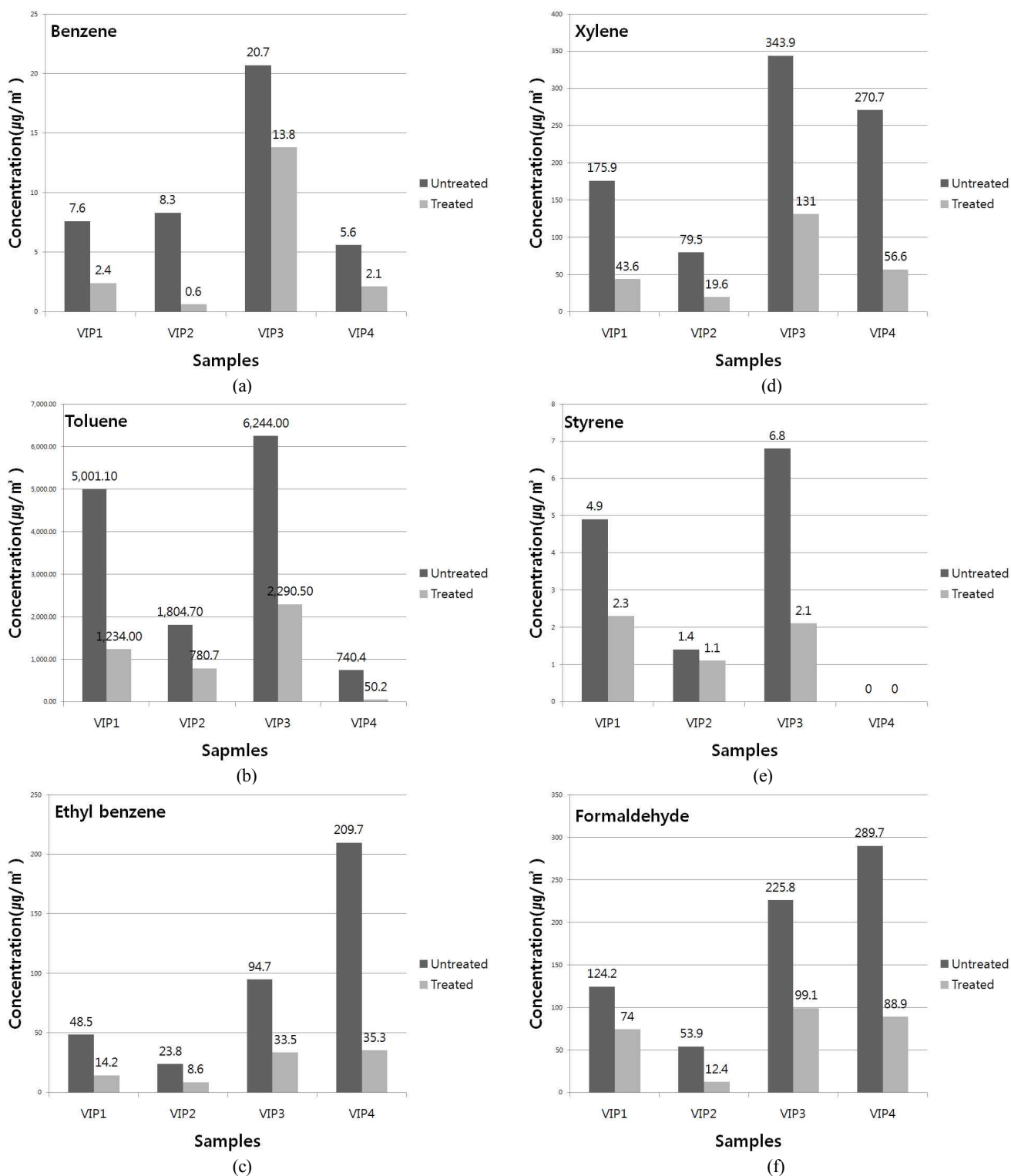
Figure 4. XRD pattern of photocatalyst.

Figure 4와 Figure 3에서 보는 바와 같이 가시광촉매를 코팅 처리하지 않은 시험편의 접촉각은 약 38°이고 가시광촉매를 코팅처리한 시험편은 10°이하인 것으로 나타났다. 일반적인 광촉매 표면은 산소가 Ti와 Ti간의 가교역할을 하여 안정화 되어 소수성을 나타낸다. 이러한 소수성 TiO<sub>2</sub> 표면에 자외선을 조사하면 일부의 가교 산소가 이탈하여 결합이 형성되고 이러한 결합에 공기 중의 물분자가 해리-흡착되면서 친수성으로 변한다.<sup>11</sup> 이와 같이 가시광촉매를 코팅처리한 시험편에 가시광을 조사하면 TiO<sub>2</sub>층의 광분해 활성화에 의하여 표면이 친수성으로 변하고 접촉각이 10°이하로 되면서 친수성의 성질을 가졌을 것으로 판단된다. 또한 이렇게 친수성의 성질을 가짐으로써 가시광촉매가 코팅된 표면은 우수한 self-cleaning 효과를 나타낼 것으로 생각된다.

1.4. X-선 회절 분석

TiO<sub>2</sub>는 결정구조의 차이에 따라 광분해 활성이 우수한 아나타제 (anatase)상, 열적 안정성이 우수한 루틸 (rutile)상, 광물에서만 발견할 수 있는 부르크아이트 (brookite)상의 3종류로 분류되며, TiO<sub>2</sub>의 아나타제상의 기준 피크는 2θ=25.302 (101), 38.608 (112), 48.091 (200), 48.103 (200)이며 루틸상은 2θ =27.461 (110), 36.116 (101), 39.311 (200)이며 부르크아이트상은 2θ=42.375 (221), 52.057 (240), 57.736 (232), 54.581 (311)이다.

본 연구에서 제조한 가시광촉매의 결정구조를 확인하기 위해 XRD 패턴 분석을 행하였다. 그 결과를 Figure 4에 나타냈



\* VIP : Vehicle Interior Parts  
 VIP1 : Floor Carpet Single Fiber  
 VIP2 : Nylon/Polyester Composite Fiber  
 VIP3 : Footrest PVC  
 VIP4 : Seat Cover Leather

Figure 5. Decrease of VOCs((a) Benzene, (b) Toluene, (c) Ethyl benzene, (d) Xylene, (e) Styrene, (f) Formaldehyde) in vehicle interior treated with visible-light responsive photocatalyst.

다. Figure 4에서 보는 바와 같이 가시광촉매 TiO<sub>2</sub>의 주피크로 아나타제상은  $2\theta=25.28$  (101), 38.24 (112), 47.64 (200)이며 루틸상으로는  $2\theta=27.48$  (110), 37.54 (101), 41.1(200)이 확인되었다. Figure 4에서는 아나타제상과 루틸상 두 결정구조가 관찰되었는데, 이는 TiO<sub>2</sub> 구조 사이에 도펀트 이온들이 퍼져 있기 때문으로 생각된다.<sup>12</sup> 또한 루틸상보다는 아나타제상 피크가 주로 나타났다. 따라서 광분해 활성 또한 우수할 것으로 판단되었으며, 자동차 내장재에서 발생하는 VOCs 및 폼알데히드 분해 및 저감효과도 우수하게 나타날 것으로 보인다.

## 2. 가시광촉매를 처리한 자동차 내장재의 분석

### 2.1. 자동차 내장재 VOCs의 분석

본 연구에서 제조한 가시광촉매의 자동차 내장재에서 발생하는 VOCs의 저감 효과를 알아보기 위해서 4종의 자동차 내장재를 선정하여 시험하였고 그 결과를 Figure 5에 나타내었으며, 자동차 내장재에서 발생하는 주요 VOCs인 톨루엔, 에틸벤젠, 자일렌, 스티렌 등의 방향족 화합물과 폼알데히드를 측정하였다. Figure 5에서 보는 바와 같이 자동차 내장재의 종류, VOCs의 종류마다 발생량의 차이가 있었다. 발생한 VOCs의 성분은 내장재 고분자의 단량체와 관련된 것이 아니라 고분자 물질 표면의 광택을 위해 사용된 재료나 코팅제, 고정을 위해 사용된 접착제, 생산 공정에서 사용한 용매 등이 원인인 것으로 보인다. 자동차 내장재에서 발생하는 VOCs중 톨루엔이 VOCs 방출량의 최소 요구 기준치를 초과하여 가장 많이 검출이 되었으며, 가시광촉매 코팅처리 후 약 60~90%의 효율로 저감되었다. 벤젠과 스티렌의 경우는 발생량이 현저히 적거나 또는 검출되지 않았으며 그 분해-저감효율은 의미가 없는 것으로 판단된다. 또한 자일렌 및 폼알데히드도 방출량 대비 그 분해-저감효율이 크게 나타나는 것을 확인하였다. 본 연구에서 제조한 가시광촉매를 자동차 내장재에 코팅처리하여 30분간 가시광을 조사한 결과, VOCs의 감소효과가 컸으며 가시광 조사시간이 증가하면 VOCs의 감소율이 더 증가할 것으로 보여진다.

실제 자동차에 적용할 시 자동차는 옥외에 주차되어 태양광의 조사를 받게 되므로 본 실험의 조건보다는 훨씬 더 광촉매 반응을 더 활발하게 하는 조건이 되므로 VOCs 저감효과는 더욱 크게 발휘될 것으로 사료된다.

### 2.2. 부착성과 내구성 평가

본 연구에서 제조한 가시광촉매의 부착성과 내구성을 평가하기 위하여 가시광촉매를 코팅처리한 PVC 시험편을 Weather-O-meter를 이용하여 test 전과 후의 폼알데히드 분해성능을 측정하여 Table 5에 나타내었다. Weather-O-meter test를 함으로써 코팅처리한 가시광촉매가 PVC 시험편에서 일부 탈리됨을 확인 할 수 있었고 이 때문에 폼알데히드의 분해율이 약 10

**Table 5. Comparison of formaldehyde decomposition before and after Weather -O-meter test during 200hr**

unit : ppm							
Samples	Time (min)	0	30	60	90	120	R* (%)
Uncoated PVC		80.0	80.0	80.0	80.0	80.0	0.0
Photocatalyst coated PVC before Test		80.0	24.0	19.2	14.4	11.2	86.0
Photocatalyst coated PVC after Test		80.0	33.6	25.6	22.4	19.2	76.0

Temperature (°C)/Humidity (RH%) : 23 / 40

R\* : Removal

%가 감소함을 확인하였다. 또한 자동차 내장재를 Weather-O-meter로 200시간 test한 결과에서 10 %pp의 폼알데히드 분해를 감소는 아주 미미한 감소율로 판단되며 우수한 내구력을 갖고 있다고 평가 할 수 있다. 또한 Figure 1의 SEM사진을 관찰했듯이 Degussa P-25의 구형인 입자와 다르게 본 연구에서 제조한 가시광촉매의 입자가 박막의 판상형태를 가져 보다 우수한 부착성 및 내구성을 갖는 것으로 판단된다.

## IV. 결 론

본 연구에서 sol-gel법으로 가시광촉매를 제조하였고, 이 가시광촉매에 대하여 여러 특성을 확인하였다. 또한 본 연구에서 제조한 가시광촉매를 자동차 내장재에 코팅처리하여 자동차 내장재에서 발생하는 VOCs에 대하여 효과적으로 분해-저감시키는지를 평가하였으며, 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 본 연구에서 제조한 가시광촉매가 코팅된 표면의 형상을 SEM으로 확인한 결과, 박막 판상으로 나타났다.
2. 일반적으로 TiO<sub>2</sub> 광촉매는 자외선 영역인 380 nm 이하의 파장을 받아 활성화되는데, 본 연구에서 제조한 가시광촉매 TiO<sub>2</sub>는 가시광영역인 약 420 nm로 red shift된 흡수 피크를 나타내어 가시광영역에서도 광촉매 반응을 하는 것으로 나타났다.
3. 가시광촉매를 코팅처리하지 않은 slide glass의 접촉각은 38°인 반면에 가시광촉매로 코팅처리한 slide glass의 접촉각은 10°이하로 가시광촉매 처리 표면이 친수성을 갖는 것으로 나타났다.
4. 본 연구에서 제조한 가시광촉매 TiO<sub>2</sub>의 결정구조를 XRD 패턴으로 분석한 결과, 광분해 활성이 우수한 아나타제상이 주로 관찰되었다.
5. 자동차 내장재에서 발생하는 VOCs에 대한 가시광촉매의 분해-저감효과에 대하여 GC/MS로 분석한 결과, 자동차 내장재 4종에서 VOCs가 분해-저감율이 우수하게 나타났다.

6. 가시광촉매를 코팅처리한 PVC 시험편을 Weather-O-meter test하여 전과 후의 폼알데히드의 분해율이 10%의 미미한 감소율로 가시광촉매가 PVC 시험편에 우수하게 부착되어 광분해 효과의 저하가 적게 나타남을 확인함으로써 부착성과 내구성이 우수함이 판명되었다.

### Reference

1. M. G. Im, B. J. Jong, H. G. Park, O. J. Nam, "A Study on the Characteristics of Volatile Organic Compounds(VOCs) and Formaldehyde Emission from Car Interior Material Using Small Emission Chamber" *Atmos. Environ.*, **5**, 264 (2007).
2. S. M. Beak, M. S. Dissertation, Honik University, Seoul, Korea (2007).
3. A. Fujishima, K. Honda, "Electro- chemical photolysis of water at a semiconductor electrode, *Nature*, 238, 37 (1972).
4. W. Y. Choi, "Studies on TiO<sub>2</sub> photocatalytic reactions" *Ind. Eng. Chem.*, **14**, 1011 (2003).
5. Y. C. Park, "Photocatalyst coating can be applied to the automobile interior" *Textile Sci. Eng.*, **13**, 180 (2009).
6. Y. R. Lee, M. S. Dissertation, Hongik University, Seoul, Korea (2008).
7. C. H. Kwon, Ph. D. Dissertation, Yonsei University, Seoul, Korea (2004).
8. H. S. Im, J. A. Cha, E. H. Jo, C. S. and evaluation of NO degradation" Korea Society for Atmospheric Environment Proceeding of the 49th Meeting of KOSAE (2009).
9. M. C. Kim, "The characteristics of Mn-TiO<sub>2</sub> catalyst for visible-light photocatalyst" *Anal. Sci. Technol.*, **24**, 6 (2011).
10. M. R. Hoffman, S. T. Martin, W. Choi, D. W. Bahnemann, *Chem. Rev.*, **95**, 69 (1995).
11. S. H. Lee, M. S. Dissertation, Gongju University, Gongju, Korea (2007).
12. A. Hocine, M. S. Dissertation, Cheongju University, Cheongju, Korea (2011).