

## VOC물질중 에탄올 광분해반응을 위한 TiO<sub>2</sub>촉매의 제조변수 고찰

### The Study on Preparation Parameters of TiO<sub>2</sub> Catalyst for Photodecomposition of Ethanol as a VOC

이 병 용 · 김 성 욱 · 정 석 진\*  
경희대학교 산학협력기술연구원 화학공학과  
(2001년 5월 14일 접수, 2001년 8월 17일 채택)

Byung-yong Lee, Sung-wook Kim and Suk-jin Choung\*  
Department of Chemical Engineering, Industrial Liaison Research Institute, Kyung Hee University  
(Received 14 May 2001; accepted 17 August 2001)

#### Abstract

In this study, TiO<sub>2</sub>, the popular photocatalyst, was used to decompose ethanol. TiO<sub>2</sub> was prepared by the sol-gel method and coated on pyrex stick. A 15W, UV-A lamp was used as the UV light source and a gas chromatography (HP 5890) was used to confirm the concentrations of ethanol, CO<sub>2</sub> and the intermediates.

Variation of preparation parameters and calcination temperature for TiO<sub>2</sub> photocatalysts in the sol-gel method caused changes of ethanol decomposition activity. The best ethanol photodecomposition activity was obtained on the sample when prepared with 0.14 mol of HCl, 8 mol of ethanol and 1.3 mol of TTIP were mixed in sol-gel process and calcinated at 500°C for 3 hours.

Acetaldehyde was detected as an intermediate and decomposed to carbon dioxide and water at the end of the reaction.

**Key words** : TiO<sub>2</sub>, photocatalyst, sol-gel method, ethanol, VOCs

#### 1. 서 론

최근 유독성 및 악취문제로 사회적으로 문제가 되고 있는 휘발성 유기화합물(volatile organic compounds, VOCs)은 대기 중으로 쉽게 증발하여 대기 중에서 질소 산화물과 공존 시 태양광의 작용을 받아 광화학 반응을 일으켜 오존 및 PAN 등의 광화학 산화성 물질을 생성시켜 광화학 스모그를 유발

시키는 물질들이며, 일부 VOCs는 자체적으로 각종 질병을 유발시키며 발암성도 있어, 환경 및 건강에 매우 해로운 물질들이다.

이러한 VOCs를 제거하기 위한 방법으로 plasma, electron beam,  $\gamma$ -ray 등을 이용한 고급산화공정(advanced oxidation process, AOP)이 이용되고 있으며 1990년대 중반 이후 광촉매(photocatalyst)를 이용한 VOCs의 제거를 위한 연구가 미국과 일본을 중심으로 크게 주목받고 있으며 최근 국내에서도 활발한 연구가 시작되었다(Yoon *et al.*, 1999; Lee *et al.*, 1999).

\* Corresponding author  
Tel : +82-(0)31-201-2971, E-mail : sjchoung@khu.ac.kr

광촉매 반응은 다른 분해 반응에 비해 설치비가 매우 적게 들고 촉매에 빛을 쬐어주는 것만으로 동작이 가능하므로 열을 가해줄 필요가 없어 운전비가 적게 들고 장치의 on/off를 UV lamp의 switch 조작만으로 가능하며 작은 공간에 설치가 가능해 바닥, 벽 또는 창문 등에 촉매를 코팅하는 것만으로도 대상 반응물질의 제거가 가능하다. 그리고, 최종 생성물이 CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O 등으로 환경에 무해한 점 등의 장점을 가지고 있으므로 최근에 각광을 받고 있는 VOCs 제거법이다.

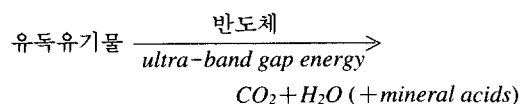
본 연구에서는 산업 현장에서 많이 발생하는 VOCs의 제거를 위한 새로운 제거방법의 개발을 목적으로 광촉매를 이용한 제거 방법을 시도해 보았다. 분해 대상물질로서는 VOCs 발생량의 약 46%를 차지(김윤신, 1997)하고 있는 도장산업에서 발생하는 VOCs의 제거를 위한 촉매개발을 시도하였다. 도장 공정에서는 아세트알데하이드(acetaldehyde), 탄화수소류, 케톤(keton), 알데하이드류, 알코올류, 에스테르(estere)류 등이 주로 악취(odor)를 발생시키는 오염물질로 보고되고 있는데, 이 중 환경부에서 고시(환경부고시, 1998)한 에탄올 VOC 반응물에 대해 광분해 반응을 실시해 그 가능성을 검토하여 보았다.

알코올류는 탄화수소, 케톤, 알데하이드류등과 함께 전체 휘발성 유기화합물 발생량의 46% 이상을 차지하여 가장 많이 발생하는 부분인 도료제조공장 및 도장공장, 인쇄공장 그리고 석유화학제조공장에서 배출되는 물질 중의 하나이다. 그리고 알코올류 중에서도 공업용에탄올은 규제대상 휘발성 유기화합물로 반드시 효과적인 제거방법이 제시되어야 할 물질이다.

## 2. 실험

### 2.1 광촉매로서의 TiO<sub>2</sub>의 제조

광촉매를 이용한 유기화합물의 제거는 광조사(주로 UV)하에서 다음과 같은 반응에 의해 광화학처리(photomineralization)시키는 비교적 최근에 개발된 제거 방법이다(설용건과 양재춘, 1997).



광촉매 반응에 대한 연구는 1960년대 경에 ZnO 분말을 이용한 유기화합물반응에서 광촉매로 연구되어져 왔으나 ZnO 자체가 광용해되기에 많은 주목을 받지는 못했다. 그 후 ZnS, CdS, TiO<sub>2</sub>, WO<sub>3</sub> 등에 대하여 광촉매로서의 연구가 이루어졌는데 이 중에서 TiO<sub>2</sub>가 광촉매로서 가장 효과적인 물질로 알려져 있다. 그 주된 이유로 첫째, 광학적 활성이 있어야 하며 둘째, 자외선 영역이나 가시광선 영역의 빛을 이용할 수 있어야 한다는 것 등이다.

광촉매로 주로 사용되는 TiO<sub>2</sub>는 400 nm 이하의 파장의 빛을 흡수해 electrons/holes pair를 생성하며, 가격이 싸고 거의 모든 조건에서 녹지 않는다. 그리고 광학적, 생물학적으로 안정하기 때문에 많이 사용된다(설용건과 이태규, 1995). 이러한 TiO<sub>2</sub> 광촉매를 제조하는 대표적인 제법인 sol-gel법은 금속 알콕사이드의 축중합반응(condensation)으로 금속 산화물(metal oxide)을 얻는 과정으로써 금속 전구체(precursor)를 물 또는 알코올 등의 분산제(disperser)에 분산시킨 후 산 또는 알칼리(주로 산 이용)를 사용해 가수분해(hydrolysis) 및 축중합 반응을 일으킨 후 제조 중 생긴 알코올을 제거해서 안정한 용액을 얻는 방법이다. 이 제법은 저온에서 제조가 가능하고 제조공정과 생성물의 특성 제어에 화학적 이론이 적용 가능하며 고순도의 제품이 생성가능하고 미량함유물질의 균일한 제조가 가능해 film 등의 여러 가지 형태로 쉽게 제조될 수 있다는 등의 장점이 많아 광촉매 제조 공정으로 가장 널리 사용되고 있다(Yoko et al., 1996).

### 2.2 Sol-Gel 합성에 의한 TiO<sub>2</sub>의 제조

용액은 전구체(precursor)로써 titanium isopropoxide (TTIP), 물, 염산, 에탄올을 혼합하여 제조하였다. 각각의 조성은 TTIP : H<sub>2</sub>O : ethanol : HCl = 1 : 0.3 : 8 : 0.14를 기준(Lin et al., 1998)으로 하여 염산, 에탄올, TTIP의 양의 비율을 변화시켜가면서 좀더 우수한 활성을 얻을 수 있는 촉매의 제조를 시도하였다.

먼저 ice bath에 에탄올을 넣은 후 TTIP를 천천히 첨가해 주고 이것이 고르게 분산된 후 물, 염산, 에탄올을 섞은 용액을 TTIP와 에탄올이 있는 용액에 첨가해 주었다. TTIP의 첨가를 ice bath에서 한 이유는 TTIP가 빠르게 축중합 단계로 넘어가는 것을 막아 제조된 titania의 입자가 작고 균일하게 하기

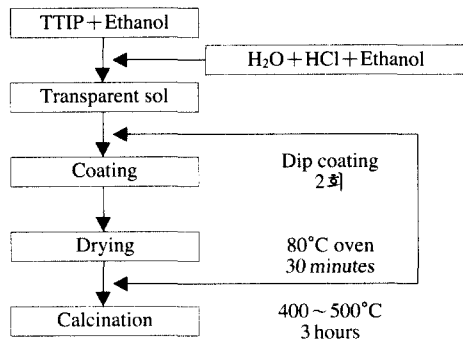


Fig. 1. Schematic diagram of TiO<sub>2</sub> preparation by sol-gel method.

위해서이다. 두 용액을 섞은 뒤 ice bath에서 30분 이내에 꺼내어 축중합이 일어날 수 있도록 계속 교반시켜주면 섞인 용액은 완전히 투명한(transparent) 용액이 된다. 이렇게 제조된 촉매를 파이렉스 유리 막대기(지름: 2 mm, 길이: 13 cm)에 코팅을 해서 활성 측정에 사용하였다. 코팅은 dipping machine을 사용해 6 cm/min의 속도로 코팅을 실시해 균일한 코팅이 될 수 있도록 하였다. 코팅은 2회 실시하였으며 1회 실시마다 80°C 오븐에서 30분간의 건조시간을 거쳐 코팅된 면이 지지체에 잘 고정될 수 있도록 하였고 2회의 코팅과 건조 후엔 400~500°C의 소성과정을 거쳐 광활성이 우수하다고 알려진 anatase의 결정형이 잘 얻어질 수 있도록 하였다. 이에 대한 도식도를 그림 1에 나타내었다.

### 2.3 반응시스템 구성

촉매의 효과적인 screening test를 위해서 그림 2와 같은 batch type reactor에서 실시하였다. 반응기의 모양은 원통형(tubular type)이고 재질은 pyrex 및 quartz 모듈을 사용해 만들어 UV-A 및 UV-C lamp의 사용도 가능하게 하였다. 하지만 실험에서는 UV-A lamp를 사용하였으므로 파이렉스 반응기만을 사용하였다. UV-A lamp를 반응에 사용한다는 점은 가시광선에 가까운 빛을 사용해 효율 및 실용성을 높이는 점 외에도 파이렉스 재질의 반응기의 이용이 가능해지므로 단가를 낮추기 위해서도 매우 중요한 점이다. 반응기는 추후에 continuous type reactor에서 사용이 가능할 수 있도록 제작하였으며 반응기 양쪽은 ultra torr로 막아서 leaking을 방지하여 실험에 사용하였다. 한쪽은 TiO<sub>2</sub>가 코팅된 유리 막대기를 넣기 위해 큰 구멍을 두었고, 반대쪽은 septum을 끼워 gas tight syringe를 사용해 농도의 분석이 가능하게 하였다. 원통형 반응기 위쪽에서 UV-A lamp의 빛이 균일하게 조사되도록 하였으며 광효율을 높이기 위해 유리막대기에 TiO<sub>2</sub>를 코팅해서 윗부분에서 조사되는 빛이 아랫부분까지 잘 도달할 수 있도록 설계하였다.

제조된 촉매가 코팅된 유리봉 6개를 반응기 내 지지체에 고정시킨 후 파이렉스 반응기 안에 넣고, 반응기의 양쪽을 ultra torr로 막아 누출이 없게 하였다. Septum이 장착되어 있는 곳으로 gas tight syringe를 이용하여 순수한 에탄올 기체 1 mL를 반응기 내부로 주입한 후 약 2시간 정도 안정화시켜 반응기 내부의 에탄올이 약 100 ppm의 농도로 일정하게 유지되도록 하였다. 반응기 내부의 반응기체 1

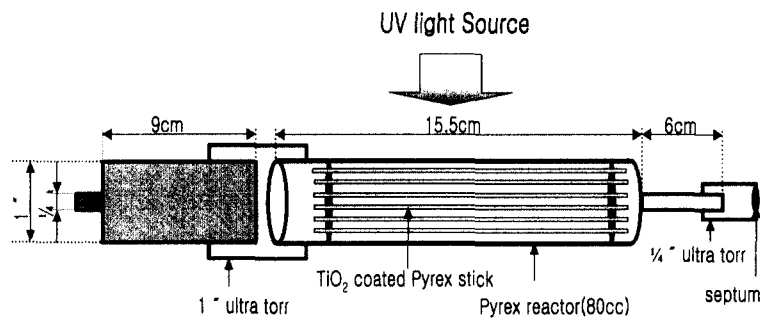


Fig. 2. Schematic diagram of reaction apparatus.

mL를 gas tight syringe를 이용해 채취 후 FID검출기가 장착된 HP 5890 GC (gas chromatography)에 수차례 주입하여 농도가 일정하게 유지된 것을 확인 후, UV lamp를 동작시키고 5분 간격으로 sampling하여 에탄올의 광촉매에 의한 농도 감소를 측정하였다.

반응은 반응기 내부의 에탄올 및 에탄올로부터 생성된 중간 생성물이 모두 사라질 때까지 UV를 조사하였으며, 제조된 촉매에 따라 자기 다른 반응 시간을 요하였으나 약 2시간 정도의 UV조사로 대부분의 반응물질이 CO<sub>2</sub>로 전환이 되었다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 제조 변수에 따른 고찰

##### 3.1.1 촉매 소성온도가 에탄올 광분해 활성에 미치는 영향

촉매의 소성온도에 따른 활성을 고찰해 보았다. 그림 3에서와 같이 소성온도를 400°C, 450°C 및 500°C로 변화시키면서 에탄올의 분해 효율을 측정해 본 결과, 최종 전환율은 비슷하였다. 그러나 소성온도가 높아짐에 따라 초기의 전환율이 증가됨이 관찰되었다. 이는 소성온도가 높아짐으로써 촉매의 결정성이 향상되어, 촉매 자체의 결함(defect)이 줄어들고, 그 결과 광 여기(photo-conduction)된 전자/정공쌍(electron/hole pair)이 촉매 위에서 반응을 해버리는 volume recombination의 기회를 줄임으로써

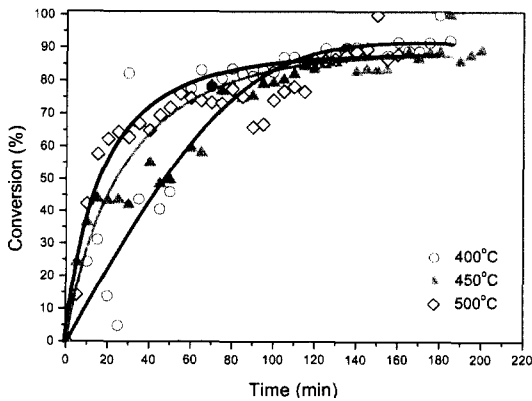


Fig. 3. Photodegradation of ethanol depending upon calcination temperatures.

반응물질과의 산화/환원반응(redox reaction)에 참여할 수 있는 기회가 증진되었기 때문이라고 사료된다.

소성온도가 올라감에 따라 결정형이 점차 증진하는 것이 보여지며 500°C 부근부터는 anatase 상에서 rutile 상으로 상전이(phase transition)가 발생하기 시작하는 것이 관찰이 되었다. 일반적으로는 anatase 상이 rutile보다 활성이 좋다고 알려져 있지만 (Basca and Kiwi, 1998), 상업용 촉매인 Degussa사의 P-25처럼 약 8:2의 혼성상(mixed phase)인 경우 활성이 더 좋다는 보고도 있다(Christine *et al.*, 1996).

소성 온도를 높이면, 더욱 고결정성을 갖게되고 anatase와 rutile의 비율을 적당히 섞어줄 수도 있지만 촉매의 지지체로 사용하였던 유리봉이 녹아 촉매가 전체적으로 제대로 소성이 되지 않을 우려가 있으므로 촉매 지지체로 사용한 파이렉스 유리봉에 코팅한 촉매의 소성 온도는 500°C가 적당하다고 말할 수 있다.

##### 3.1.2 산 (HCl)의 첨가량이 광활성에 미치는 영향

Sol-gel법에 의한 촉매의 제조시 산 또는 염기는 가수분해(hydrolysis) 및 축중합(condensation)속도를 조절해 준다. 본 실험에서는 이러한 영향을 미치는 산의 양을 조절해 입자의 고른 성장을 유도해 활성의 증진을 기대하였다(이해옥 등, 1993). 하지만, 실험의 결과는 그림 4와 같이 본 실험에서 산의 변화량에 따른 에탄올의 분해효율은 거의 변화가 없는 것으로 나타났다. 중간 생성물인 아세트알데하

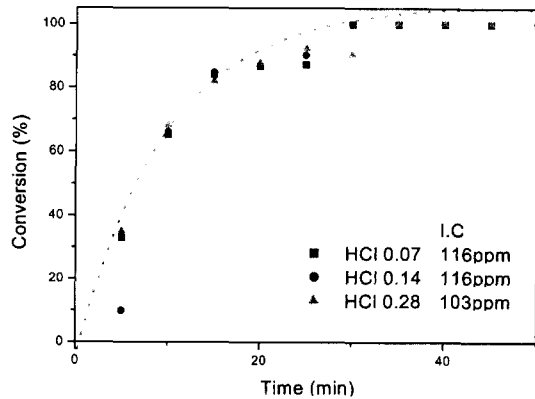


Fig. 4. Photodegradation of ethanol depending on the amount of HCl in sol-gel synthesis.

이드의 제거효율 역시 마찬가지로 산의 첨가량에 상관없이 거의 일정한 효율을 나타내었다. 이는 가장 소량 첨가한 HCl 0.07 mol도 균일한 코팅면을 얻기에 충분한 양이라고 사료된다.

3. 1. 3 분산제 (에탄올)의 첨가량이 광활성에 미치는 영향

금속 전구체의 분산제 (disperser)로 sol-gel공정에서 많이 사용되는 에탄올은 TTIP가 TiO<sub>2</sub>입자로 크게 성장할 수 있도록 하며 젤화 속도와 최종 생산된 무기산화물의 구조와 기공도 (porosity)에 영향을 미치게 된다. 본 실험에서는 에탄올의 비율을

6.72, 8, 10.5 mol로 변화시켜 가면서 에탄올의 분해 효율을 측정해 보았다. 그림 5에서 보는 바와 같이 에탄올의 광분해 효율은 8 mol과 10.5 mol인 경우가 6.72 mol인 경우보다 더 좋으며 두 개의 경우 비슷한 제거 효율이 나타났다. 하지만 중간 생성물인 아세트알데하이드의 경우 8 mol인 경우 초기에 많이 생성이 되었다가 급격히 제거되었으나, 10.5 mol인 경우엔 작은 양이 지속적으로 생성이 되어 최종 제거 시간이 8 mol의 경우보다 거의 3배 가까운 시간이 걸리는 것으로 나타났다(그림 6). 우리가 원하는 에탄올 광분해반응의 최종 생성물질이 아세트알데하이드가 아닌 CO<sub>2</sub> 및 H<sub>2</sub>O이므로 에탄올의 첨가량이 8 mol인 경우가 중간생성물의 제거 효율 및 원가 절감 측면에서 더 나은 것으로 사료된다.

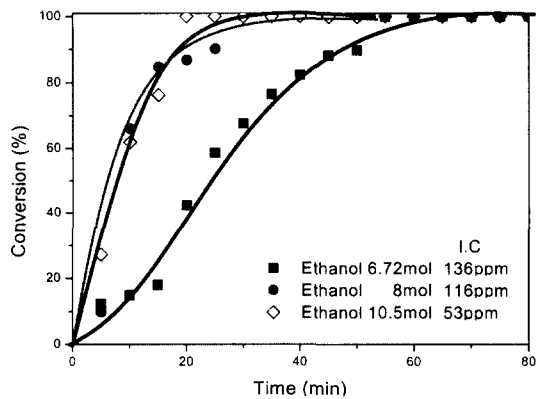


Fig. 5. Photodegradation of ethanol depending on the amount of ethanol in sol-gel synthesis.

3. 1. 4 전구체 (TTIP)의 첨가량 광활성에 미치는 영향

TiO<sub>2</sub>의 전구체인 TTIP의 첨가량을 변화시키면서 활성측정을 해 보았다. 전구체의 양이 늘게되면 제조된 용액의 농도가 진해지게 되므로 코팅 시에 조밀하게 되어, 코팅면에 photocarrier양의 증진이 기대되어 활성의 증진이 기대되었다. 하지만 전구체의 양이 너무 많아진다면 용액 제조시 첨가되는 물질의 mole ratio가 변화되므로 TTIP의 증가량을 적절히 증가시켜야 한다(Tada and Tanaka, 1997).

TTIP의 양의 변화를 시킨 후의 활성 측정 결과는 그림 7에서 보는 바와 같이 최종 전환율은 거의 100%로 비슷하였으나 TTIP의 첨가량이 증가될수

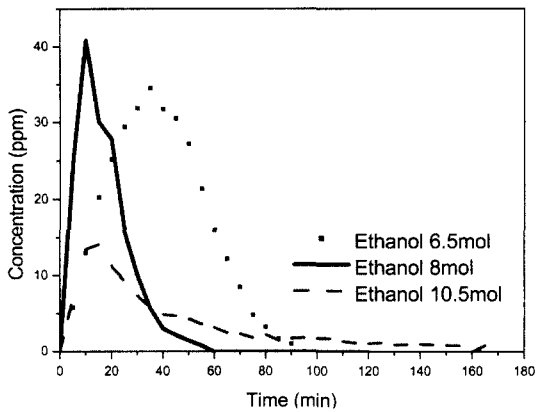


Fig. 6. The amount of acetaldehyde produced during the photodecomposition of various concentrations of ethanol.

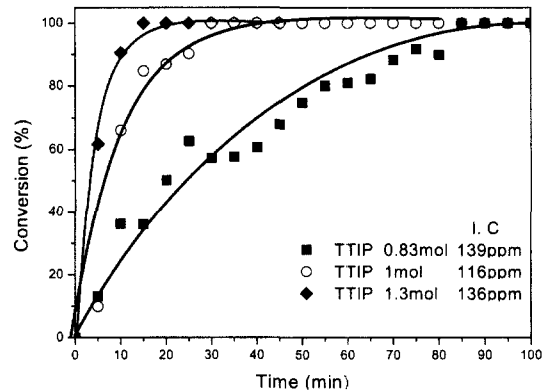


Fig. 7. The Conversions of ethanol on various TiO<sub>2</sub> samples prepared by changing the amount of TTIP in sol-gel synthesis.

록 초기 전환율이 증가하는 것을 볼 수 있다. UV 조사 후 10분 뒤의 전환율을 비교해 보면 TTIP의 양이 0.83 mol인 경우에는 약 30~40% 정도에 그친 전환율이 TTIP가 1.3 mol이 첨가된 촉매에서는 약 90%의 전환율을 얻을 수 있었다. 따라서 TTIP의 첨가량을 1.3 mol까지는 증가시키더라도 용액이 제대로 제조가 되어 코팅의 이상없이 잘 되며 가장 좋은 효율을 얻을 수 있다.

**3.2 촉매의 표면특성이 광활성에 미치는 영향**

BET 표면적이 증가함에 따라 촉매에 반응물질이 흡착될 수 있는 확률이 높아지게 되므로 표면적이 증가하면 활성이 증가한다는 보고도 있다(Yamashita and Anpo, 1996). 본 연구에서 제조된 촉매의 기본 물성을 측정하기 위해 BET표면적을 측정한 후 에탄올을 광분해 활성과의 상관관계를 알아보기 위해 UV 조사 후 10분 뒤의 전환율을 살펴보았다. 기존의 보고와는 달리 그림 8에 보여진 바와 같이 촉매의 표면적이 비례하지 않을 뿐 아니라 오히려 반비례하는 경향이 나타났다.

촉매가 코팅은 균일하게 되었을지라도 광촉매 반응(photoactalytic reaction)은 UV광원에 노출된 활성점 위에서만 일어난다. 그런데 촉매의 세공이 깊어져 촉매의 표면적은 늘어나더라도 오히려 광원에 노출되는 활성점은 오히려 줄어들게 되어 여기(conduction)된 전자/정공쌍이 surface recombination 또는 volume recombination 반응을 더욱 쉽게 일으킨다. 따라서 반응물과의 산화/환원반응(redox reac-

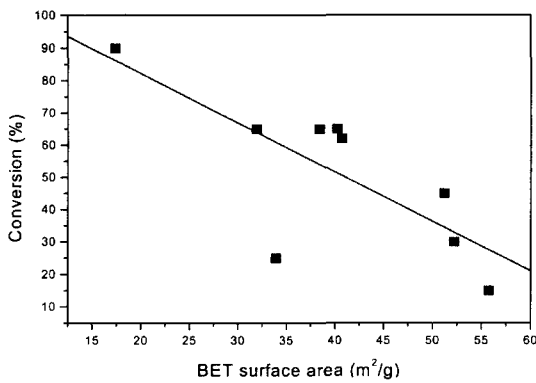


Fig. 8. Relationship between BET surface area of prepared TiO<sub>2</sub> samples and conversions of ethanol.

tion)이 상대적으로 감소한 것으로 생각된다. 이와 더불어 광촉매로서 많이 연구되는 TiO<sub>2</sub>산화물은 anatase결정이 주로 있는 결정일 때 더욱 광활성이 크다고 알려져 있는데 anatase 결정이 주로 500°C 이하의 저온 영역대에서 존재하나 이 온도대에서 소성하는 경우 TiO<sub>2</sub> 내부에 결함(bulk defects)이 많이 존재하는 것으로 알려져 있다. 이러한 내부결함은 광여기된 전자의 재결합의 site로써 역할을 하기 때문에 광활성을 저하시키는 원인이 된다. 그리고 500°C 이상의 고온에서 소성하는 경우 anatase 결정상이 rutile 결정상으로 상전이가 일어나게 된다. 이러한 산화/환원반응의 상대적 감소와 TiO<sub>2</sub>의 anatase에서 rutile로의 결정상변화 및 내부결함의 증가 등의 이유로 에탄올 광분해 반응 활성이 감소한 것으로 사료된다.

**3.3 중간 생성 물질의 고찰**

에탄올을 광분해 반응시킴에 따라 중간생성물(intermediate)이 확인되었다. 중간생성물은 반응 초반에 급격히 증가했다가 에탄올이 완전히 분해된 이후에도 계속 남아 있다가 최종적으로는 완전 분해가 되었다(그림 9). 이 중간 물질은 GC-MS (HP 6890)에 의해 아세트알데히드(acetaldehyde)로 규명이 되었으며 이에 대해서 Ollis의 논문에서도 유사한 중간물질 변환 메카니즘(mechanism)이 제시되었다(Michael and Ollis, 1996). 그는 UV 광원에 의해 에탄올이 분해가 될 때 유리 코팅면에서의 분해와 monolith reactor에서의 분해반응 메카니즘(mechanism)

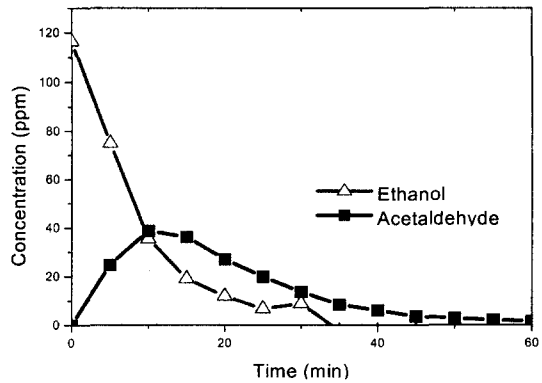


Fig. 9. Trace of acetaldehyde during the decomposition of ethanol.

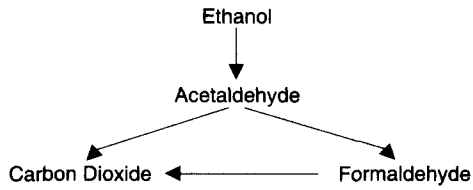


Fig. 10. The suggested ethanol degradation pathway on the TiO<sub>2</sub> coated glass plate.

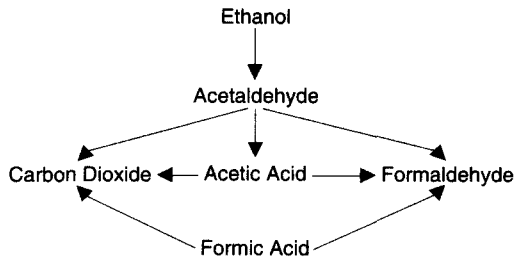


Fig. 11. The suggested ethanol degradation pathway on monolith type TiO<sub>2</sub> catalyst.

이 서로 다르다고 제시하였다. 에탄올이 평면의 유리 코팅면에 코팅된 경우, UV에 의해 에탄올이 우선 아세트알데하이드로 산화되고, 생성된 아세트알데하이드는 포름알데하이드(formaldehyde)를 거치거나 혹은 곧바로 CO<sub>2</sub>와 물로 분해가 된다고 발표하였다(그림 10). 반면에, monolith reactor에서의 에탄올은 약간 다른 경로를 통해 분해가 된다. 에탄올이 우선 아세트알데하이드로 변환되었다가 acetic acid, 포름알데히드, 개미산(formic acid)을 거쳐 이산화탄소로 변환이 되는 경우와, acetic acid에서 이산화탄소로 변환이 되는 경우, 그리고 곧바로 acetaldehyde에서 이산화탄소로 변형이 되는 이 3가지 반응경로 중 한가지를 통해 분해가 된다고 하였다(그림 11).

반응기 형태에 따라 다른 반응 경로를 보이는 것은 유리판에 촉매가 코팅된 경우에는 acetic acid와 개미산(formic acid)의 변환이 매우 빠르게 일어나 중간 생성물로써 관찰이 되지 않지만, monolith reactor에서는 이 두가지 중간체들이 빛이 닿지 않는 부분에서 가역적인 축적이 일어나기 때문이라고 설명하고 있다.

본 실험에서는 에탄올의 분해 과정중 포름알데하

이드 및 개미산 등으로의 변환은 관찰되지 않았으나 분해반응기구에서 필수단계이며 가장 많은 농도로써 관찰되는 아세트알데하이드가 중간생성물이라고 결론지을 수 있다.

#### 4. 결 론

Sol-gel방법에 의한 광촉매제조시 최적의 제조 조건을 찾기 위한 목적으로 수행을 하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

소성 온도에 따른 활성을 살펴본 결과 소성 온도가 증가함에 따라 촉매의 결정성이 증가하였고 그에 따라 촉매 자체의 defect가 줄어들어 초기 에탄올 광분해 활성이 증진 되었다.

Sol-gel방법에 의해 촉매 제조시 첨가되는 염산, 에탄올, TTIP의 양을 변화시켜본 결과 HCl:H<sub>2</sub>O:ethanol:TTIP=0.14:0.3:8:1.3의 mole ratio로 제조하는 것이 에탄올 광분해에 있어서 최상의 효율을 보였다.

촉매의 표면적이 증가하면 일반적으로 VOCs 제거효율이 좋아진다고 알려져 있는데 본 실험에서는 오히려 반비례함이 관찰되었다. 이는 촉매가 코팅은 균일하게 되었을지라도 광촉매 반응(photoactalytic reaction)은 UV광원에 노출된 활성점 위에서만 일어난다. 그런데 촉매의 세공이 깊어져 촉매의 표면적은 늘어나더라도 오히려 광원에 노출되는 활성점은 오히려 줄어들게 되어 여기(conduction)된 전자/정공쌍이 surface recombination 또는 volume recombination 반응을 더욱 쉽게 일으킨다. 따라서 반응물과의 산화/환원반응(redox reaction)이 상대적 감소와 TiO<sub>2</sub>의 anatase에서 rutile로의 결정상변화 및 내부결합의 증가등의 이유로 에탄올 광분해 반응 활성이 감소한 것으로 사료된다.

에탄올의 광분해반응의 결과 중간 생성물로써 아세트알데하이드가 생성되었다.

#### 감사의 글

이 연구는 1999년도 학술진흥재단 중점연구소과제(과제번호 99-005-E00024)의 지원에 의해 수행되었습니다. 연구비를 지원한 학술진흥재단에 감사

를 포함합니다.

### 참 고 문 헌

- 김윤신 (1997) 휘발성 유기화합물질 규제대상 설정 및 관리방안에 대한 연구, 한양대학교.
- 설용건, 이태규 (1995) 촉매, N.1, 11.
- 설용건, 양재춘 (1997) 촉매정보, 여름호.
- 이해옥, 김창은, 김구대 (1993) 요업재료의 과학과 기술, 8, 3.
- 환경부고시 제 1998-77호 (1998. 7. 16). 전문개정.
- Basca, R.P. and J. Kiwi (1998), Applied Cata. B: Envir, 16.
- Christine, B.S., F. Annie, G. Patrick, and Jean-Louis O (1996) Applied Cata. B: Envir., 8.
- Hiroaki Tada, Makiko Tanaka (1997) Langmuir, 13.
- Hiroki, Y. and Masakazu Anpo (1996) J. of Catalysis, 158.
- Lin, H., H. Kozuka, and T. Yoko (1998), Thin Solid Films, 315.
- Michael, L. Sauer, and F. David (1996) J. of Catalysis, 158.
- Toshinobu Yoko, Lili Hu, Horomitsu Kozuka, and Sumio Sakka (1996) Thin Solid Films, 283.
- Yoon, J.K., J.W. Kang, and T.K. Lee (1999) J. of Korean Soc. Environ. Engrs., No. 5, 21.
- Lee, W.I., Y.T. Kwon, and G.J. Choi (1999) Bull. of Korean Chem. Soc., 667, 18.