

광촉매가 코팅된 플라스틱 광섬유를 이용한 Isopropylalcohol 광분해 반응

홍지너 · 하진욱 · 주현규*

The Photocatalytic Decomposition of Isopropylalcohol(IPA) Using Plastic Optical Fiber(POF) Coated Photocatalyst

Jee-Nyu Hong, Jin-Wook Ha and Hyun-ku Joo*

요 약 본 연구에서는 IPA(isopropyl alcohol)를 분해물질로 선정하여 플라스틱 광섬유(Plastic Optical Fiber, POF)에 TiO_2 를 코팅하여 오염물질을 분해하였다. P-25가 코팅된 POF의 표면은 유기계, 무기계, 유·무기 바인더를 사용한 것 모두 깨끗하였고, 무기계 바인더를 사용하여 코팅된 POF는 부착력이 현저히 떨어졌다. IPA 분해 결과, 무기계 바인더를 사용한 경우, 다른 종류의 바인더와는 다르게 IPA의 초기농도 값이 매우 작게 나왔는데 이러한 결과는 반응기에 주입된 IPA가 평형이 될 때까지 기다리는 동안 흡착이 일어났기 때문으로 생각된다. 유기계 바인더를 사용하여 코팅된 POF는 IPA 분해 효율이 매우 저조하였고 유·무기 바인더를 사용하여 코팅된 POF의 IPA 분해 효율은 우수하였다. P-25와 IPA의 분해 효율이 우수한 유·무기 바인더의 비율을 10 : 10, 10 : 8, 10 : 6, 10 : 4, 10 : 2로 바꾸어 IPA를 분해한 결과, P-25와 유·무기 바인더의 비율이 10 : 2 일 때 IPA 분해 효율이 가장 우수하였다. 또한 P-25와 코팅액 제조 시 희석제로 사용되는 에탄올의 질량비를 1 : 7, 1 : 11, 1 : 15로 바꾸어 IPA를 분해한 결과, P-25와 에탄올의 비율이 1 : 15 일 때 IPA 분해 효율이 가장 우수하였다.

1. 서 론

산업과 과학기술의 발달로 수많은 화학물질이 개발되고 있으며 그 사용량은 점점 증가하고 있는 추세이다. 이러한 화학물질로 인한 수질 및 대기 오염은 갈수록 심각해지고 있는 실정이며, 인간 및 생태계를 위협하고 있다.

수많은 화합물의 총칭으로 불리는 휘발성 유기화합물(Volatile Organic Compounds, VOC)은 산업체에서 많이 사용되고 있는 용매와 화학 및 제약공장, 플라스틱의 건조공정에서 배출되는 유기가스 등까지 매우 다양하며, 저비점 액체연료, 파라핀, 올레핀, 방향족화합물 등 우리 생활 주변에서 흔하게 사용되는 탄화수소류들이 거의 VOC에 속한다. VOC는 인체 및 동식물에 유해한 2차 오염물질인 광화학 산화물을 형성하는 전구물질로서 오존오염을 증가시켜 오존주의보 및 경보발령의 원인이 되고 있다[1]. 선진국에서는 오래 전부터 고급 산화공정(Advanced Oxidation Process, AOP)의 일종인 광촉매를 이용하여 오염물질을 처리하는 연구를 진행하고 있으며 최근 국내에서도 광촉매에 관하여 활발한 연구가 시작되고 있다[2-8]. 광촉매를 이용한 오염

물질 처리 방법은 액상 및 기상에 바로 적용이 가능하고 상온·상압 하에서도 오염물질 처리가 가능하며, 내성유기물의 분해가 용이하다. 또한 낮은 농도에서도 분해속도가 감소하지 않으므로 미량유해물질을 제거할 수 있고, 2차 오염물질을 생성하지 않으며 최종생성물은 인체에 무해한 CO_2 와 H_2O 로 환경 친화적인 오염물질 처리 방법이다. 광촉매로 사용할 수 있는 물질로는 ZnO , CdS , WO_3 , TiO_2 , V_2O_5 , Fe_2O_3 등이 있는데, 그 중 TiO_2 가 가장 많이 사용되고 있다. ZnO 는 trichloroethylene, tetrachloroethylene과 같은 특정한 물질에 대해서만 탁월한 효과를 가지고 있으며, 자신이 빛을 흡수함으로써 촉매 자신이 빛에 분해되어 유해한 Zn 이온을 발생시키는 단점을 가지고 있다. CdS 도 역시 자신이 빛을 흡수하여 분해되면서 유해한 Cd 이온을 발생시키고 WO_3 는 특정물질에 대해서만 효율이 우수하여 사용할 수 있는 영역이 매우 제한되어 있다. 반면에 TiO_2 는 빛을 받아도 변화되지 않아 반영구적으로 사용할 수 있으며 염소(Cl_2)나 오존(O_3)보다 산화력이 우수하고 강력한 살균력을 가지고 있는 장점이 있다. 본 연구에서 분해물질로 선정한 IPA(isopropyl alcohol)는 녹는점 $-89.5^\circ C$, 끓는점 $82.4^\circ C$, 비중 0.7864의 독특한 냄새가 나는 무색의 휘발성 액체이고, 인화성이 있다. 산업장에서 용제와 소독제로, 가정에서는 세안제나 부동제로 널리 쓰인다. 작

순천향대학교 신소재화학공학부
*한국에너지기술연구원 광화학소재팀

업장에서 눈, 코, 인후부의 자극을 예방할 수 있는 공기 중 허용농도는 440 ppm이다. 허용농도 이상의 농도에서는 오심, 구토, 혼수상태까지 유발할 수 있다. 본 연구에서는 플라스틱 광섬유(Plastic Optical Fiber, POF)에 TiO_2 를 코팅하여 IPA(isopropyl alcohol)를 분해하였다.

2. 실험

2.1 광촉매 코팅액 제조

Degussa P-25 TiO_2 를 사용하여 코팅액을 제조, plastic optical fiber(POF)에 코팅하여 IPA(isopropylalcohol) 분해 효율을 알아보았다. 코팅액 제조시 바인더는 유기계(애경화학), 무기계(AIST), 유기계 바인더와 무기계 바인더를 질량비로 1 : 1 배합하여 제조한 유·무기 바인더를 사용하였고, 희석제로 에탄올을 사용하였다. Fig. 1에 본 실험에서 사용한 코팅액 제조방법을 나타내었다.

2.2 광분해 장치

기상 오염물질 분해 장치는 반응기, UV 램프, 안정기로 이루어지며 Fig. 2에 나타내었다. Pyrex 재질로 된 실린더형 반응기는 부피가 730 ml 이고 중간부에는 시료를 채취할 수 있도록 sampling port를 만들었다. 광원은 15 W의 UV lamp를 2개 연결하여 사용하였다.

2.3 광분해 실험

본 실험에서 사용된 광섬유는 플라스틱 광섬유 (plastic optical fiber, POF)로서 PMMA(poly-methyl methacrylate)로 된 core와 특수 불소 폴리머(F-PMMA)로 만들어진 얇은 clad층으로 구성되어 있다. Clad를 제거한 후 굴절율이 큰

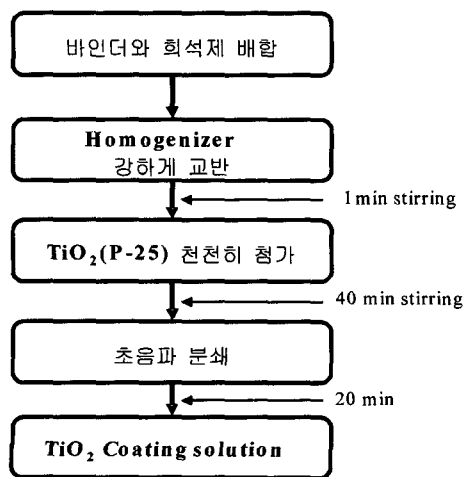


Figure 1. 광촉매 코팅액 제조방법

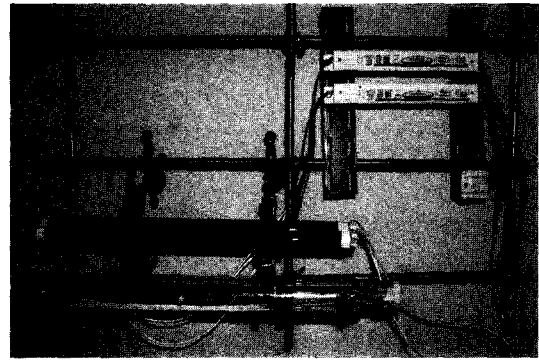


Figure 2. 광분해 장치

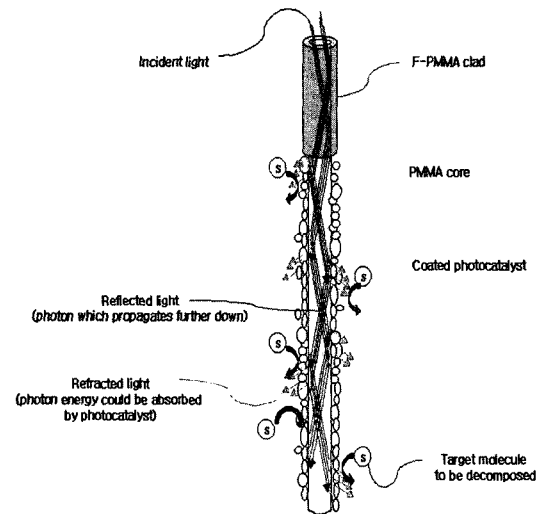


Figure 3. 광촉매가 코팅된 POF

광촉매를 core에 코팅하였을 때는 빛이 수직 점선 쪽으로 휘어 광촉매에 의하여 흡수가 일어나게 된다. 이러한 원리로 광섬유에 코팅된 광촉매 표면에서 광화학 반응을 일어난게 할 수 있다.

광촉매 코팅액을 POF에 코팅하기에 앞서 POF 전처리를 해주어야 한다. POF를 30 cm 길이로 19가닥을 준비하여 아세톤에 3분 동안 담근 후 꺼내면 외부 clad가 제거된다. 이를 흐르는 증류수로 세척한 후 아세톤이 묻어있는 용지로 닦아주어 제거되지 않고 남아있는 clad 또한 완전히 제거하였다. clad가 제거된 POF의 core 위에 본 실험에서 제조한 광촉매 코팅액을 사용하여 딥코팅(dip coating)방법으로 코팅을 하였다. 광촉매가 코팅된 POF를 Fig. 3에 도식화하였다. TiO_2 가 코팅된 POF는 80°C에서 30분간 경화시켰다.

TiO_2 가 코팅된 19가닥의 POF를 실린더형 반응기 안에 설치하고 IPA(isopropyl alcohol)를 290 ppm 주입하였다. IPA가 확산이 일어나 평형상태가 되면 UV lamp

Table 1. GC 분석 조건

Column	- HP-FFAP(crosslinked FFAP) - 25 m × 0.32 mm × 0.52 μm - HP Part No.1909F-112
Temperature	- Oven Temp : 100°C - Injector : 120°C - Detector : 250°C
Split vent flow	38.0 ml/min
Septum purge vent flow	5.46 ml/min
Column flow	1.8 ml/min
Aux gas flow	29.2 ml/min
Split ratio	22.1 : 1
H ₂ flow	30~40
Air flow	300~400
Column head pressure	7.5 PSI

Table 2. 바인더 종류에 따른 POF 코팅표면특성

Organic binder		Inorganic binder		Inorganic · organic binder	
surface	adhesion	surface	adhesion	surface	adhesion
clear	good	clear	bad	clear	good

를 켜고 광분해 실험을 수행하였고, IPA 분해 활성을 알아보기 위하여 일정시간마다 일정량의 sample을 채취하여 GC(Gas Chromatography)를 이용하여 분석을 하였다. GC는 Hewlett Packard사의 5890 II 모델을 사용하였고, 분석시 조건을 table 1에 나타내었다. 본 실험에서는 유기계, 무기계, 유·무기 바인더를 사용하여 IPA의 분해 효율을 알아보았다. 또한 바인더와 P-25의 질량비를 10 : 10, 8 : 10, 6 : 10, 4 : 10, 2 : 10으로 바꾸어 가며 IPA 분해에 미치는 영향을 관찰하였고, 코팅액 제조 시 에탄올의 첨가량에 따른 IPA 분해 효율도 알아보았다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 바인더 종류에 따른 IPA 분해 효율

Degussa P-25가 코팅된 plastic optical fiber(POF)를 이용하여 IPA(isopropyl alcohol)를 분해하는 실험에 앞서 코팅액 제조 시 첨가되는 바인더 종류에 따른 POF 표면 물성을 알아보았다. TiO₂ 코팅액은 P-25 : 바인더 : 에탄올을 질량비로 1 : 1 : 7 배합하여 제조하였고, 바인더는 유기계, 무기계, 유기계 바인더와 무기계 바인더를 질량비로 1 : 1 배합하여 제조한 유·무기 바인더를 사용하였다. 각 바인더를 첨가하여 제조한 코팅액을 사용하여 clad가 제거된 POF 표면에 덩 코팅하였고, 80°C에서 30분간 경화

시킨 후에 POF 표면을 관찰하여 Table 2에 나타내었다. P-25가 코팅된 POF의 표면은 바인더의 종류에 상관없이 모두 깨끗하였으나 무기계 바인더를 배합한 코팅액을 사용하여 코팅한 POF는 부착력이 현저히 떨어졌다.

각각의 바인더와 배합하여 제조한 코팅액으로 코팅한 POF를 반응기에 설치하여 IPA를 분해하였다. 무기계 바인더를 사용한 경우, 다른 종류의 바인더와는 다르게 초기농도 값이 매우 작게 나왔는데 이러한 결과는 P-25가 코팅된 POF를 반응기에 설치 후 IPA를 주입하고 평형이 될 때까지 기다리는 동안 흡착이 일어났기 때문으로 생각된다. 유기계 바인더를 사용한 경우, IPA 분해 효율이 매우 저조하였고 유·무기 바인더를 사용한 경우 IPA 분해 효율이 우수하였으며, 그에 따른 결과를 Fig. 4에 나타내었다.

3.2 P-25와 바인더 비율에 따른 IPA 분해 효율

선행 실험 결과, 유·무기 바인더를 사용하여 코팅한 POF가 IPA 분해 효율이 가장 우수하였고 코팅층 표면 물성도 우수하였으므로 P-25와 바인더 비율에 따른 IPA 분해 실험에서는 유·무기 바인더를 사용하여 분해 효율을 고찰하였다.

P-25와 유·무기 바인더를 질량비로 10 : 10, 10 : 8, 10 : 6, 10 : 4, 10 : 2로 바꾸어 IPA를 분해한 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 이 때 에탄올은 P-25 질량의 7배로 첨가하여 코팅액을 제조하였다. 바인더를 가장 적게 배합하여 코팅한 POF가 IPA 분해 효율이 가장 우수하였고 이는 POF 표면에 코팅된 광촉매가 UV를 받아 활성을 일으킬 때 바인더로 인한 활성을 방해할 수 있는 요인이 줄었기 때문인 것으로 생각된다. P-25와 유·무기 바인더를 10 : 2 비율로 배합하여 제조한 코팅액을 사용하여 코팅한 POF의 표면은 깨끗하였고 부착력도 우수하였다.

3.3 에탄올의 비율에 따른 IPA 분해 효율

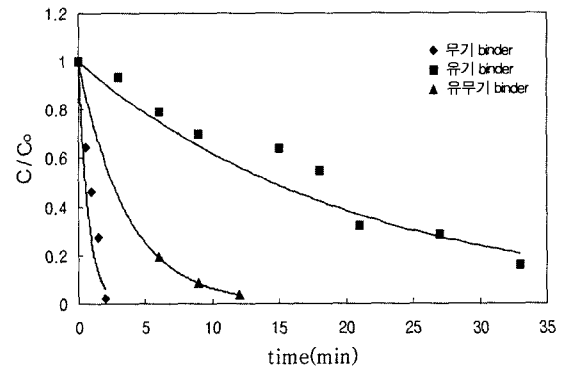


Figure 4. 바인더 종류에 따른 IPA 분해 효율

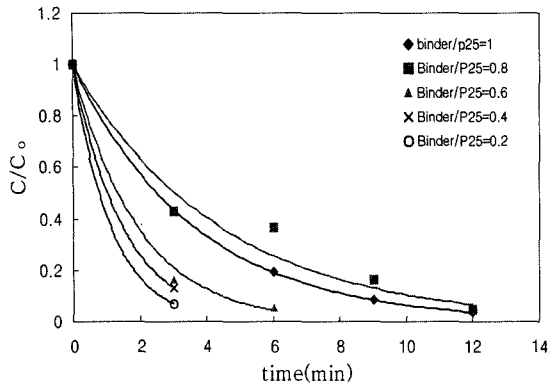


Figure 5. P-25와 바인더 비율에 따른 IPA 분해 효율

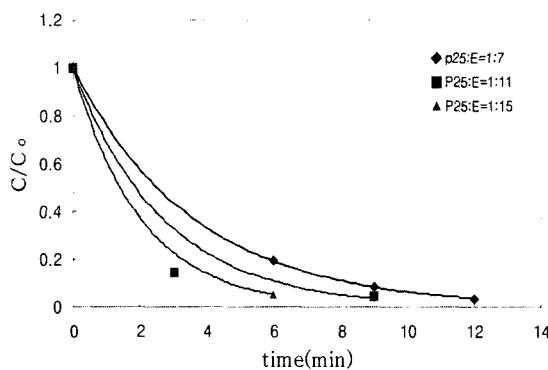


Figure 6. 에탄올의 비율에 따른 IPA 분해 효율

광촉매 코팅액 제조시 희석제로 사용되는 에탄올의 비율에 따른 IPA 분해 실험 시 바인더는 유·무기 바인더를 사용하였고 P-25와 바인더를 질량비로 10 : 2 배합하여 코팅액을 제조하였다. P-25와 희석제로 사용되는 에탄올의 질량비를 1 : 7, 1 : 11, 1 : 15로 바꾸어 IPA를 분해한 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 결과에서 보듯이 P-25와 에탄올을 1 : 15 비율로 제조한 코팅액을 사용하여 코팅한 POF의 IPA 분해 효율이 가장 우수하였다. 이러한 결과는 코팅액 배합 시 사용하는 에탄올의 비율이 낮을 경우 코팅액의 점도가 상대적으로 높아져서 POF의 코팅 표면이 균일하게 형성되지 않았기 때문인 것으로 생각된다. 즉, P-25와 에탄올의 비율이 1 : 15일 때 POF 표면의 TiO₂ 코팅층이 박막에 가까운 형태로 가장 균일하게 형성되었기 때문에 IPA의 분해 효율이 가장 우수하게 나타난 것으로 이해된다.

4. 결 론

광촉매 TiO₂를 POF에 코팅하여 기상 오염 물질 (IPA)을 분해한 결과,

1. P-25가 코팅된 POF의 표면은 유기계, 무기계, 유·무기 바인더를 사용한 것 모두 깨끗하였고, 무기계 바인더를 사용하여 코팅한 POF는 부착력이 현저히 떨어졌다.
2. 무기계 바인더를 사용한 경우, 다른 종류의 바인더와는 다르게 IPA의 초기농도 값이 매우 작게 나왔는데 이러한 결과는 반응기에 주입된 IPA가 평형이 될 때까지 기다리는 동안 흡착이 일어났기 때문으로 생각된다. 유기계 바인더를 사용하여 코팅한 POF는 IPA 분해 효율이 매우 저조하였고 유·무기 바인더를 사용하여 코팅한 POF의 IPA 분해 효율은 우수하였다.
3. P-25와 IPA의 분해 효율이 우수한 유·무기 바인더를 질량비로 10 : 10, 10 : 8, 10 : 6, 10 : 4, 10 : 2로 바꾸어 IPA를 분해한 결과, P-25와 유·무기 바인더의 비율이 10 : 2 일 때 IPA 분해 최적 배합 조건임을 알 수 있었다.
4. P-25와 코팅액 제조 시 희석제로 사용되는 에탄올의 질량비를 1 : 7, 1 : 11, 1 : 15로 바꾸어 IPA를 분해한 결과, P-25와 에탄올의 비율이 1 : 15 일 때 IPA 분해 효율이 가장 우수하였다.

참고문헌

- [1] 환경부, “휘발성 유기화합물질 규제 대상설정 및 관리 방안에 관한 연구”, 1997.
- [2] D. I. Sedlak, and A. W. Andren, Environ. Sci. Technol., 제25권 4호, pp. 777-782, 1991.
- [3] D. F. Ollis, E. Pelizzetti, and N. Serpone, Environ. Sci. Technol., 제25권 9호, pp. 1523-1529, 1991.
- [4] 윤재경, 강준원, 이태규, 전명석, 주현규, 대한환경공학회지, 제21권 5호, pp. 1003-1011, 1999.
- [5] 주현규, 전명석, 이태규, 대한환경공학회지, 제21권 6호, pp. 1231-1240, 1999.
- [6] C. Y. Hsiao, C. L. Lee and D. F. Ollis, J. Catal., 제82권, pp. 418-423, 1983.
- [7] T. Nguyen and D. F. Ollis, J. Phys Chem., 제88권, pp. 3386-3388, 1984.
- [8] D. F. Ollis, et al., J. Catal., 제88권, pp. 89-96, 1984.