

고효율 광분해시스템을 이용한 VOC 분해성능 연구

도영웅¹, 박성애¹, 하진욱^{1*}

A Study on the Photodegradation of VOC Using High Efficiency System

Young-Woong Do¹, Seung-Ae Park¹ and Jin-Wook Ha^{1*}

요약 본 논문은 TiO₂(Degussa, P-25), 바인더(A-9540) 그리고 용제의 배합비율을 바꾸어 코팅액을 제조하여 알루미늄 금속판에 코팅한 후, 고농도의 IPA를 주입하여 분해효율을 고찰하였다. 고품분 함량 비율 변화에서는 TiO₂ 함량은 증가하고 바인더가 감소할수록 좋은 효율을 보였고, 용제는 에탄올과 MEK 두 가지 중에 MEK의 분해효율이 좋았다. 용제(MEK)함량 비율 변화에서는 일정량의 용제가 있을 경우 분해효율이 좋았고, 용제함량이 낮아질 경우 코팅액 점도가 높아지고 건조 후에는 표면이 갈라지는 현상을 보였다.

결국, 용제함량 비율 변화는 바인더 함량 실험에도 영향을 주어 1.75 : 0.25 : 10일 때 가장 좋은 분해효율을 보였다.

Abstract In this paper, The TiO₂ paste was prepared by changing the ratio of TiO₂(Degussa, P-25), binder (A-9540) and solvent. The paste was coated on to aluminum metal plate to investigate the photodegradation of IPA. The best efficiency was obtained with increasing TiO₂ content and decreasing binder content. MEK is preferred to ethanol in terms of efficiency and the lower amount of solvent enhanced the rate. We, however, found the increasing viscosity of the paste and cracking with the lower content of solvent(MEK).

In conclusion, the optimum activity was obtained when the ratio of TiO₂, Organic binder(A-9540) and MEK was 1.75 : 0.25 : 10.

Key Words : 광촉매, 대기오염(air pollution), 코팅(coating), TiO₂, IPA(IsoPropylAlcohol), VOC(Volatile Organic Compounds)

1. 서론

18세기 이후 산업의 발전은 사람이나 가축의 노동력을 대신하여 석탄, 석유, 천연가스 등 소위 화석 연료의 사용에 수반하여 대기오염이 발생하게 되었다. 눈에 보이는 연기는 대체로 액체나 고체의 입자로 기체가스의 오염 물질은 거의가 무색으로 눈에 보이지 않고 역한 냄새가 나는 것도 있지만 매우 열어서 모르는 경우도 많다.

대기오염물질 중에 높은 증기압을 가진 휘발성유기화합물(Volatile Organic Compounds, VOC)의 배출은 환경과 인체에 매우 심각한 문제를 야기하는데 일반적으로 산업에서 사용되는 VOC는 alcohols, mercaptan, ketone,

ethers 와 halogenated hydrocarbons 가 널리 사용되고 있으며, 화학적 공정, 유해물질 처리장소, 지하수 복원장소, 심지어 실내 공기에서도 발견되기 때문에 많은 나라에서 휘발성유기화합물의 배출에 대한 대책을 강구하고 있다.

1990년대 초부터 이산화티탄(TiO₂)을 이용한 광촉매 처리기술이 주목을 받아왔으며, 이 방법은 대기와 수중의 유기오염물질을 무기화 하는데 뛰어난 가능성을 지닌 방법이다. 특히 액상보다 기상에서의 오염물질 처리에 더욱 많은 가능성을 보여주고 있다.

본 논문에서는 실내공기청정기 개발 및 연구를 위한 초기 데이터 실험으로 TiO₂ 광촉매를 이용하여 휘발성유기화합물질 중 하나인 IPA(IsoPropylAlcohol)의 분해효율을 알아보려 한다.

이 논문은 2007년 환경부 환경기술개발사업 지원에 의하여 연구되었음

¹순천향대학교 화학공학·환경공학과

*교신저자: 하진욱(chejwh@sch.ac.kr)

2. 실험

2.1 고효율 광분해 반응시스템

이 실험에서 사용되는 광분해 반응시스템의 구성은 반응기, 반사체, 광원, 분석시스템, 안정기, 저속 정량펌프로 이루어진다. 반응기는 석영재질의 위로 개폐가 가능한 1024ml의 직사각형 반응기이고, 실험 중에 반응시스템과 가스분석장비(GC)간 인위적인 조작이 없이 자동순환시스템에 의해 광촉매 반응과 시료분석을 하도록 만들었다.

광원은 Sankyo denki사 BLB UVA 램프(일본) 16W(4W*4개)를 사용하였고, 금속재질의 반사체로 UV 광원을 효율적으로 사용하였다. 가스분석장비(GC)로는 영린기기 M600D GC(FID), HP-1(30m, 0.32mm : capillary column)를 사용하였고[표 1], 반응기의 온도조절을 위해서 반응시스템과 GC 사이에 연결된 튜브를 지나는 시료의 온도를 자동 체크하여 표시하는 전자시스템을 설치하여 사용하였다.

실내 온도는 30~35℃로 통제하였다.

저속 정량펌프는 FMI사의 Q50펌프(미국)로서 유량은 0~36ml/min이며, 압력은 100psig으로 반응장치를 순환할 수 있도록 사용하였다.

본 연구에서 사용된 광분해 반응 실험장치의 전체 구성도는 [그림 1]에 나타내었다.

표 1. 가스크로마토그래피(GC) 분석조건

Column	- HP-1 - 30m×0.32mm×0.25μm - -60℃ to 325℃(350℃ Pgm) - HP Part No. : 19091Z-413
Temperature	- Oven Temp : 35℃ - Injector Temp : 120℃ - Detector Temp : 200℃
Split vent flow	88.2 ml/min
Septum purge vent flow	4.93 ml/min
Column flow	1.8 ml/min
Aux gas flow	21.2 ml/min
Split ratio	50 : 1
H ₂ flow	30 ~ 40 ml/min
Air flow	350 ~ 400 ml/min
Column head pressure	8 PSI

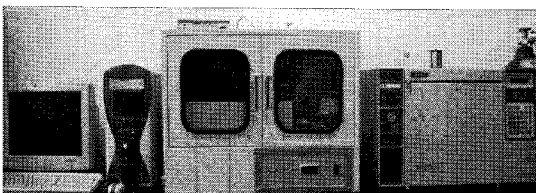


그림 1. 고효율 광분해 반응장치.

2.2 광촉매 코팅액 제조

TiO₂(Degussa, P-25)와 바인더의 질량비를 바꾸어가며 코팅액을 제조하였고, 300rpm, 12hr 볼밀로 잘 분산시켜 전 처리한 알루미늄 금속판에 플로우(flow) 코팅을 하였다.[그림 2]

코팅한 모든 알루미늄 금속판은 drying oven에서 90℃, 60분으로 경화시켜 건조 후 코팅면을 관찰하였다.

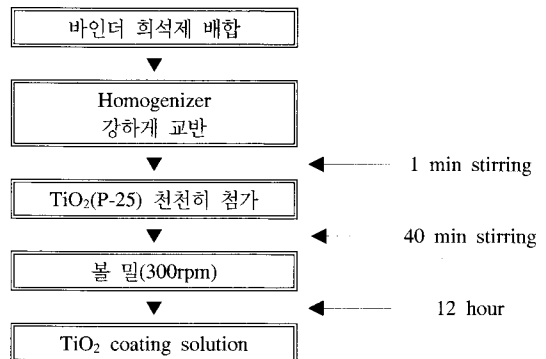


그림 2. TiO₂ 코팅액 제조 방법.

2.3 실험방법

알루미늄 금속판을 활용한 공기정화 실험은 크게 알루미늄 금속판 전 처리, 광촉매 코팅, 광분해 활성 실험 등으로 구성된다. 기본적으로는 TiO₂ 분말상태인 Degussa 제품의 P-25, 유기계바인더(아크릴계) A-9540(한국)을 사용하였다. A-9540의 경우 무기계바인더인 KR-400(일본), 유·무기계바인더인 TMOS(미국)에 비해 코팅 후 표면상태, 배합성, 부착력에서 두 가지 다른 바인더보다 나은 결과를 보였으며, 특히 부착력이 좋아 선정하였다. 희석제로는 에탄올과 MEK를 사용하여 효율이 좋은 용제를 선택하여, P-25와 A-9540, 용제 비율에 따른 분해 효율의 차이를 실험하였다.

반응기 안을 IPA로 세척하여 건조한 후, 광촉매가 코팅된 알루미늄 금속판 1개(31.8cm*11cm)를 설치하고 반응기의 sampling port를 통하여 IPA 150g/L를 주입하여 확산이 일어나 평형상태가 되면 UV 램프를 켜고 광촉매 분해 반응 실험을 하였다. 이 때 반응시스템 내부의 온도는 30~35℃로 유지하였다.

사용한 IPA와 잔여 IPA의 정량적 분석을 위하여 GC를 사용하였고, 10분마다 밸브 설정에 의해 반응시스템 안에서 250μl의 시료를 자동으로 채취하여 GC로 주입되도록 하였다. 그리고 비열로 코팅한 알루미늄 금속판에 대한 IPA 분해효율을 측정하였다.

3. 결과 및 토론

3.1 TiO₂와 바인더(A-9540) 함량에 따른 분해활성 비교

코팅액을 용질 중에 TiO₂ 비율은 1, 1.5, 1.75로 점차 늘리고 바인더 비율은 1, 0.5, 0.25로 점차 줄이면서 제조하여 알루미늄 금속판에 플로우 코팅을 하여 실험을 한 결과, TiO₂ : A-9540 : 에탄올이 1.75 : 0.25 : 10일 때 반응시스템 내 광분해 반응으로 인하여 [그림 3]과 같이 IPA가 가장 많이 분해된다는 것을 알 수 있었다.

한편, 코팅액 제조시 바인더 함량이 0.25이하의 비율에서는 알루미늄 금속판에 광촉매 물질을 고정화하기가 쉽지 않아 실험을 진행하기 어려웠다.

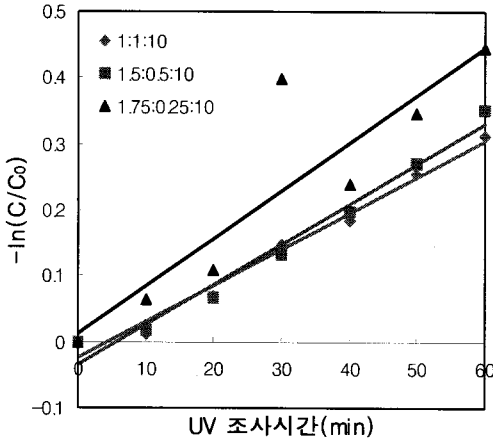


그림 3. TiO₂와 바인더(A-9540) 양에 따른 비교.

3.2 용제 종류에 따른 분해활성 비교

이 실험은 실험 3.1 에서 가장 좋은 효율을 보인 TiO₂ : A-9540 : 에탄올 비율 1.75 : 0.25 : 10을 바탕으로, 두 가지 다른 용제인 에탄올과 MEK에 대한 분해효율 비교를 하였다. 코팅비율은 TiO₂ : A-9540 : 용제를 1.75 : 0.25 : 10으로 하고, 용제 종류를 에탄올과 MEK로 다르게 하여 실험을 진행하였다.

[그림 4]에서 볼 수 있듯이 에탄올보다 MEK의 효율이 더 좋은 것을 알 수가 있다.

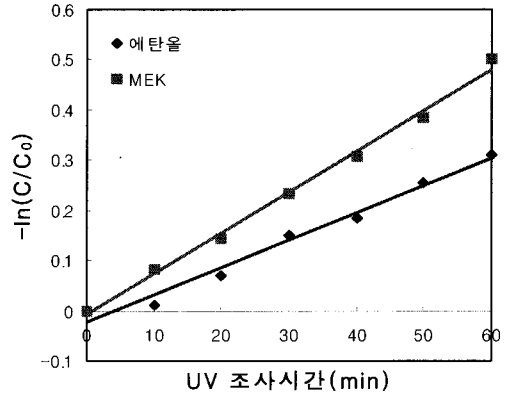


그림 4. 용제 종류에 따른 비교.

3.3 용제(MEK)의 비율 변화에 따른 분해활성 비교

이 실험은 용제인 MEK의 비율에 따른 분해효율을 고찰하기 위해서, 용제의 비율을 10에서 7까지 조절해가면서 나타낸 것이다.

실험 결과 [그림 5]를 보면 용제 함량이 10에서 7로 감소할수록 분해효율이 좋지 않았으며, 10이상의 비율에서는 코팅액 제조시 너무 묽어 시간이 지나면 층분리 현상이 일어났고, 코팅시 알루미늄 금속판에 고정화시키기 어려웠다. 또한, MEK의 함량이 줄어들수록 코팅액 점도가 높아짐에 따라 건조 후에는 표면이 갈라지는 현상이 나타났다. 그 결과 7이하의 비율에서는 알루미늄 금속판에 고른 분산을 위한 플로우 방식으로 코팅하기가 어려웠다.

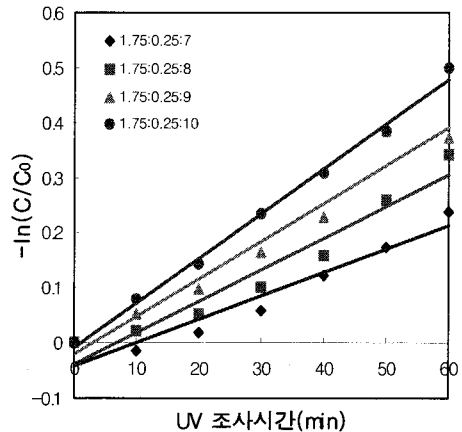


그림 5. 용제(MEK) 비율에 따른 비교.

3.4 바인더(A-9540) 양에 따른 분해활성 비교

마지막 실험으로 바인더(A-9540)의 양을 0.25에서 0.45까지 비율을 조절하여 실험을 실시하였다.

실험 결과 [그림 6]에서 볼 수 있듯이 바인더 함량이 0.35일 때 분해효율이 약간 좋아졌으나, 0.3이상에서는 분해활성도에 큰 차이를 보이지 않았다. 오히려 0.3이상의 비율에서는 0.25일 때보다 분해활성도가 떨어지는 경향을 보였다.

결국, 1.75 : 0.25 : 10 일 때 가장 좋은 분해효율을 보였다.

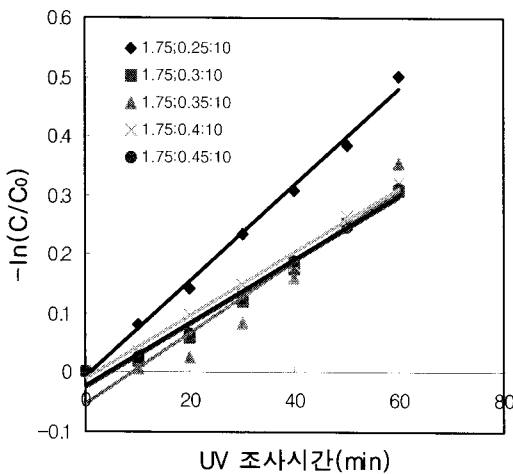


그림 6. 바인더(A-9540)양에 따른 비교.

4. 결 론

본 실험에서는 첫째, 용제에 대하여 코팅액의 TiO₂는 증가하고 바인더는 감소할수록 분해활성도가 증가하였다. 그러나 알루미늄 금속판에 광촉매 물질을 고정화시키기 위해서는 0.25이상의 바인더 함량이 필요하였다. 또한 추가적인 실험이 진행되지는 않았으나 일정 면적에 적정선 이상으로 TiO₂ 함량이 증가할 경우 분해활성을 저해하는 요인이 될 수 있음이 보고 되어있다.

둘째, 용제는 에탄올보다 MEK의 분해효율이 약 12% 더 좋았다.

셋째, 용제(MEK) 함량 변화실험에서는 광촉매 물질(TiO₂)의 고른 분산에 의한 코팅성을 보았을 때, MEK가 10이상의 비율에서는 코팅액의 층분리 현상이 나타났으며, 점도가 낮아 알루미늄 금속판에 TiO₂를 고정화하기 어려웠다. 7이하의 비율에서는 점도가 높아 알루미늄 금

속판에 고르게 코팅하기가 어려웠고, 분해활성도 역시 좋지 않았다. 또한 TiO₂와 바인더(A-9540)가 MEK에 충분히 배합될 수 있는 조건이 아닌 경우 고형분 함량만을 높은 코팅액을 알루미늄 금속판에 코팅하였을 때, IPA의 분해효율이 항상 좋은 효율을 보이지 않았다. 그 결과 코팅성과 광촉매 물질의 고정화 정도를 고려할 때, 코팅액 제조시 일정량의 용제가 필요함을 알 수가 있었다.

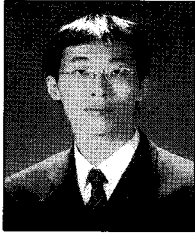
결국, TiO₂의 코팅 함량과 바인더(A-9540), 용제 종류에 따라 함량 비율의 변화를 주어 광분해 실험을 수행한 결과, 최적의 조건으로 TiO₂ : 바인더(A-9540) : MEK가 1.75 : 0.25 : 10일 때 가장 좋은 분해활성도를 나타내었다.

참고문헌

- [1] 이상훈, "광촉매의 전자제품 응용 연구동향" 전기 전자 재료 제18권 제9호 pp.3~14, 2005.
- [2] 광촉매 반응의 응용, J. of Korean Ind & Eng. Chemistry, Vol. 3, No. 1, pp.35~45, March 1992.
- [3] 이규환, "광촉매 고정화기술 연구동향", 機械와 材料, Vol. 11, No. 3, pp94~104, 1999.
- [4] Michael R. Hoffmann, Deltlef W. Bahnemann etc., Chem. Rev.95, pp69~96(1995).
- [5] Rosana M. Alberici, Wilson F. Jardim, Applied Catalysis B : Environmental, 14, pp55~68, 1997.
- [6] A. O'Mally, N. K. Hodnett, Catalysis Today, 54, pp31~38, 1999.
- [7] 다게우찌 고우지, 무라사와 사다오, 이부스키 다카시 [공], 김영도 옮김, "광촉매의 세계 : 환경 정화의 결정적인 수단", 대영사, 2000.
- [8] Oliva, M. J. et al., "Control Method for Air Emission from Explosive Manufacturing", AWMA 87th Annual Meeting & Exhibition, Air & Waste management Association, Dittsburgh, 1994.
- [9] A. Fujishima, Tada N. Rao, Pure & Appl. Chem. Vol. 70, No. 11, pp2177~2187, 1998.
- [10] M. Anpo et al., "studies in surface science and catalysis", 12th international congress on catalysis, pp130, pp157, 2000.
- [11] 황현태, 김상범, 홍성창, 도동섭, 조성중, "광촉매를 이용한 기상에서의 휘발성유기화합물의 제거", 2000.
- [12] 이재춘, "수열합성법에 의한 나노크기 TiO₂ 제조에서 합성온도의 영향 및 그 광촉매 특성", 부경대학교 대학원, pp54, 2004.
- [13] 조성혜, "TiO₂ 광촉매를 이용한 PASHs와 TCE 분해 특성 연구", 부경대학교대학원, pp9, 2006.

도 영 웅(Young-Woong Do)

[준회원]



- 2006년 2월 : 순천향대학교 화학공학과 (공학사)
- 2008년 2월 : 순천향대학교 화학공학환경공학과 (공학석사)
- 2008년 3월 ~ : 순천향대학교 화학공학환경공학과 박사과정

<관심분야>

광촉매, 기능성 코팅, 대기·수질 정화, 친환경소재, 대체 에너지 분야

박 성 애(Seung-Ae Park)

[준회원]



- 2006년 2월 : 순천향대학교 환경공학과 (공학사)
- 2008년 2월 : 순천향대학교 화학공학환경공학과 (공학석사)

<관심분야>

광촉매, 기능성 코팅, 대기·수질 정화, 친환경소재, 대체 에너지 분야

하 진 욱(Jin-Wook Ha)

[종신회원]



- 1986년 2월 : 연세대학교 화학공학과 (공학사)
- 1990년 8월 : (미)Univ. of Illinois 화학공학과 (공학석사)
- 1993년 5월 : (미)Univ. of Illinois 화학공학과 (공학박사)
- 1995년 3월 ~ 현재 : 순천향대학교 환경공학과 교수

<관심분야>

광촉매, 기능성 코팅, 대기·수질 정화, 친환경소재, 대체 에너지 분야