

광촉매 코팅 금속의 IPA 분해 특성 연구

유동식¹, 박재현², 하진욱^{1*}

A Study on the Degradation of Isopropyl Alcohol with TiO₂-coated Metal

Dong-Sik Yu¹, Jae-Hyeon Park² and Jin-Wook Ha^{1*}

요약 본 연구에서 광촉매 TiO₂/P-25를 알루미늄 금속판에 코팅하여 코팅 조건에 따른 IPA 분해 활성을 고찰한 결과, 무기계 바인더인 KR-400, 유무기복합 바인더인 TMOS, 유기계 바인더인 A-9540을 사용하여 코팅한 알루미늄 금속판의 표면상은 모두 깨끗하였다. 부착력은 무기계 바인더를 제외한 바인더에서 우수한 것으로 나왔다. 또한 IPA 분해 효율은 무기계 바인더 < 유무기 복합 바인더 < 유기계 바인더 순으로 나타났다. 유무기복합 바인더와 P-25의 비율을 10: 10, 8.3: 10, 6.6: 10, 5: 10, 3.3: 10, 1.6: 10으로 바꾸어 광분해 실험을 수행한 결과, 1.6:10일 때 IPA 분해 효율이 가장 우수하였다. 상용화된 타사(A사, B사) 제품과의 성능 비교 결과, 본 연구에서 사용한 바인더(A-9540): P-25의 비율을 1: 6으로 배합하여 코팅한 알루미늄 판의 IPA분해 효율이 가장 우수하였다.

Abstract The degradation of IPA according to coating conditions was examined by TiO₂/P-25-coated aluminium metal plate. Inorganic(KR-400), inorganic • organic hybrid(TMOS) and organic(A-9540) resins were used as binder. TiO₂ coated surface of aluminum metal plate was clear with all binders, and the adhesion of binders was good except inorganic binder. The activity for IPA degradation appeared to range in order A-9540>TMOS>KR-400. The optimum activity was obtained when the ratio of TMOS and P-25 was 1.6:10, and when the ratio of A-9540 and P-25 was 1.0:6.0, respectively.

Key Words : TiO₂, Metal, IPA, VOC, Binder, Degradation, Coating

1. 서론

광촉매는 실용목적으로 기초연구나 응용연구측면에서 많은 주목을 받고 있다. 광촉매를 이용한 오염물질의 광분해는 환경문제와 관련하여 상당한 관심을 불러일으키고 있는 상태다[1-3]. 수종의 광촉매 중에서도 이산화티탄(TiO₂)은 환경정화분야에서 그 잠재적 효용이 높은 것으로 평가 받고 있다. 최근 이산화티탄을 분말이나 코팅 방법으로 휘발성 유기화합물(volatile organic compounds, VOCs)을 광분해하여 환경개선에 상업적으로 접근하고 있는 추세다[4]. 광촉매를 이용한 방법들은 밴드에너지 갭(band energy gap)보다 높은 빛 에너지를 흡수하여 생성된 전자와 정공(electron-hole)쌍에 의한 산화와 환원

반응을 이용한다[5]. 광촉매 반응에 대한 연구는 1972년 Fujishima와 Honda가 전압을 걸어준 TiO₂단결정 전극상에 자외선을 쬐이면 물이 수소와 산소로 광분해 되는 것을 발견한 것으로서 출발한다[6]. 1980년대에는 이러한 산화-환원반응이 에너지 저장기술 뿐만 아니라 독성물질의 분해에도 사용이 가능하다는 것을 인식하게 되었고, 최근까지 환경 청정 기술로서 활발한 연구가 진행되고 있다. 광촉매에 의한 화학적 분해는 광촉매 분말을 그대로 사용하는 방법과 촉매를 지지체에 고정화시키는 방법이 있다. 분말 형태로 사용하는 방법은 우수한 효율을 가지고 있으나 처리 후 광촉매 분말을 다시 회수해야 하는 문제점을 가지고 있다. 이를 보완하기 위한 방법으로 TiO₂를 고정상인 담체에 부착시키는 연구가 시작되었다. 모재가 가지고 있는 재료의 특성에 새로운 기능성을 부여하고자 할 때 가장 쉽게 쓰는 방법은 요구되는 특성의 원료를 모재에 물리적으로 혼합하는 방법이다. 그러나 최종제품의 사양이 점차 세분화되고 엄격해짐에 따라 이를

¹순천향대학교 화학공학환경공학과

²한국에너지기술연구원

*교신저자: 하진욱(chejwh@sch.ac.kr)

만족시키기 위해서는 출발 원료단계 재료의 균일성이 매우 중요하다. 따라서 물성이 서로 다른 분말을 기계적 물리적으로 혼합하는 방법보다는 한 종류의 분말에 한층 특성을 향상시킬 수 있는 코팅방법이 연구되고 있다. 대부분의 광촉매 응용기술은 광촉매 콜로이드나 분산된 입자를 이용하는 것이 아니라 지지체에 코팅된 광촉매를 이용한다. 지지체로 사용되는 물질은 유리, 세라믹, 금속, 플라스틱 등 매우 다양하다. 지지체에 코팅된 광촉매가 물이나 공기 중의 오염물질을 분해, 제거하는 광반응기 내에 설치되면 광촉매의 분리, 수거 공정이 불필요하다. 나노크기의 광촉매 입자로 박막을 제조하는 기술은 담지된 광촉매의 표면적을 극대화시킨다는 점에서 많은 관심의 대상이 되고 있다[7]. 상당수의 유기화합물은 이산화탄소에 의한 광분해가 일어나며 이에 대한 연구는 아세트, 1-부탄올, 부탄올, 포름알데하이드 및 메타-자이렌 등과 같이 산소가 포함된 유기화합물이 그 대상으로 한 경우가 많다[8].

본 연구에서 VOC물질 중에서도 알코올 관능기가 포함된 사슬형태의 비교적 간단한 분자인 이소프로필 알코올(isopropyl alcohol, IPA)을 모델로 선정하여 금속판상에 광촉매를 코팅하여 코팅조건에 따른 IPA의 광분해 특성을 고찰하였다.

2. 실험

2.1 시약 및 바인더

사용 시약은 메틸 에틸 케톤(MEK), 이소프로필 알코올(IPA)은 aldrich제품을 이산화티탄은 degussa의 P-25를 사용하였다. 그 외 시판용 알루미늄 금속판은 IPA로 세척 후 건조하여 사용하였다. 바인더로서 실리카 졸(silica sol)인 KR[®]-400, 폴리올(polyol)인 A[®]-9540, 실란인 TMOS(tetramethyl orthosilicate)를 사용하였으며 부착력 시험은 투명 셀룰로이드 테이프(ASTM 3359)방법으로 실시하였다.

2.2 TiO₂ 코팅액 제조

코팅액은 선택된 TiO₂, 희석제로 MEK와 바인더(무기계, 유기계, 유·무기복합)를 질량비로 1: 1: 7 배합하여 2시간 동안 볼 밀(ball mill)하여 코팅액을 제조하였다(그림 1). 또한 세 개의 바인더 중 부착력과 분해 효율이 모두 우수한 바인더를 선택하여 TiO₂(P-25)와 바인더의 질량비를 바꾸어 가며 제조하였다.

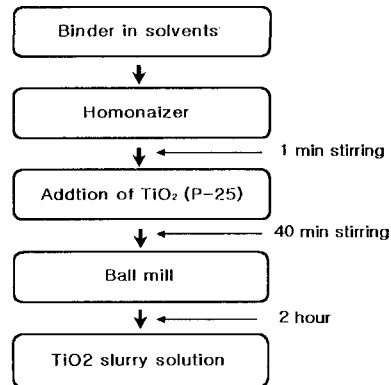


그림 1. TiO₂ 코팅액 제조 과정

2.3 바-코팅(bar-coating)

알루미늄판위에 TiO₂ 코팅액을 올려놓고 코팅용 바(bar)를 이용, 일정 속도를 유지하면서 한쪽방향으로 끌어당기는 방법으로 상온에서 코팅하고 코팅된 알루미늄 금속판은 90℃에서 60분으로 경화시켰다.

2.4 광분해장치

광분해 장치는 그림 2와 같이 광원(Sankyo Denki, 8W, BLB UV lamp, 2EA), 실린더형 반응기(730ml, cylinder cell type), 온도조절기, 기체 크로마토그래피(GC: Young Rin, column: HP-1, 30m × 0.321mm × 0.25 μm, 60℃ to 325℃, Oven Temp. 30℃, injector temp. 150℃, detector temp. 200℃), 운반 기체(N₂/O₂/H₂), 검출기(FID)와 분석용 소프트웨어(autochro 2000)가 설치된 PC, 반사판 및 냉각팬으로 구성하였다.

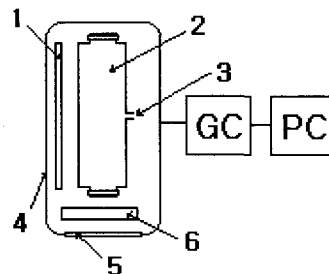


그림 2. 광분해시스템 1. UV lamp; 2. 실린더형 광반응기; 3. 시료출입구; 4. 반사판; 5. 냉각팬; 6. 온도조절기

2.5 광분해 실험

광분해 실험은 석영재질의 원통형 반응기 안에 광촉매가 코팅된 알루미늄 금속판 4개(2.5×10cm)를 설치한 후 반응기의 시료 출입구를 통하여 IPA를 290ppm의 농도로

주입하여 확산이 다 일어나 평형상태가 되면 UV lamp를 켜고 광촉매 분해 반응실험을 수행하였다. 이때 반응기 내부의 온도는 25℃로 일정하게 유지하였다. 사용한 IPA와 잔여 IPA의 정량 분석을 위하여 GC(영린기기, M600D GC)를 사용하였다. 반응기 내부에 시료를 매 5분마다 0.5ml씩 채취하여 주입, IPA의 잔여 농도를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 파우더 양에 따른 IPA의 분해활성 비교

광촉매의 양에 따른 IPA(430ppm)의 분해 효율을 알아 보기 위하여 반응에 사용되는 양을 바꾸면서 IPA 분해 효율을 고찰하였다. 알루미늄 금속판 위에 P-25의 양을 0.01g, 0.02g, 0.03g으로 변화하며 IPA 광분해 실험을 한 결과 그림 3에서 보듯이 촉매의 양이 많을수록 활성이 증가하는 것을 볼 수 있었다. 한편, 촉매의 양이 0.02g에서 0.03g까지 증가하였을 경우 활성의 증가는 크지 않았다. 이러한 결과는 430ppm의 IPA분해에 0.02g의 P-25가 충분한 양임을 암시하는 결과이다.

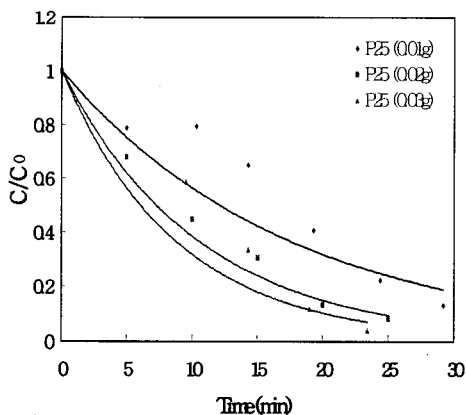


그림 3. TiO₂양(0.01g, 0.02g, 0.03g)에 따른 IPA의 광분해

3.2 IPA농도 효과

선행실험 결과, 0.02g의 P-25를 가지고 IPA(isopropyl alcohol)의 농도를 215ppm, 430ppm, 1000ppm으로 변화하여 광분해 효율을 고찰하였다. 그림 4에서 보듯이 215ppm의 IPA는 9분 30초 만에 80%이상 분해되었고 1000ppm의 IPA는 24분 만에 거의 분해 되는 것을 볼 수 있었다.

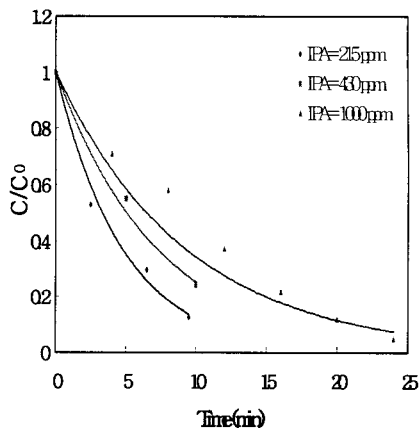


그림 4. 일정한 TiO₂의 양(0.02g)에 따른 IPA 농도의 영향

3.3 바인더의 영향

무기계 바인더(silica sol)인 KR-400, 유기·무기 복합 바인더(silane)인 TMOS, 유기계 바인더(polyol)인 A-9540의 사용에 따른 IPA 분해 효율의 차이를 비교하여 그림 5에 나타내었다. 코팅액은 바인더: P-25: MEK을 질량비로 1: 1: 7 배합하여 제조하였으며 부착력은 무기계 바인더보다 유기계 바인더를 사용하였을 때가 우수하였다.

광분해 효율을 보면 무기계 바인더를 사용한 경우 다른 종류의 바인더와는 다르게 낮았으며 한편 유기계 바인더를 사용한 경우, IPA 분해 효율이 매우 우수하였고, 유기·무기 복합 바인더를 사용하여 코팅한 알루미늄판의 IPA 분해 효율 또한 우수하였다.

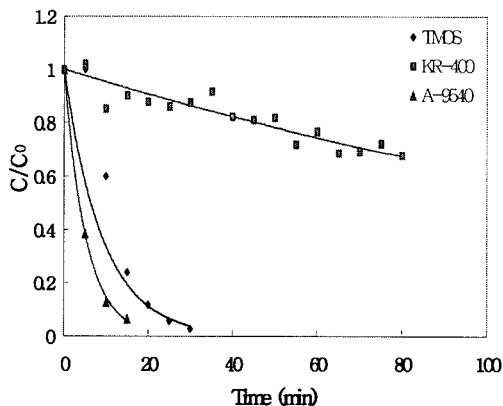


그림 9. 바인더에 따른 IPA의 광분해

3.4 유기계 바인더(A-9540)양의 영향

앞의 실험에서 코팅된 알루미늄 금속판의 IPA분해 효

율이 가장 우수한 유기계 바인더(A-9540)를 사용하여 P-25와 바인더 비율에 따른 IPA 분해 효율을 고찰하였다. 유기계 바인더와 P-25를 10: 10, 8.3: 10, 6.6: 10, 5: 10, 3.3: 10, 1.6: 10 비율로 바꾸어 실험을 수행하였다. 각각의 비율로 코팅되어진 알루미늄 금속판 표면 상태는 모두 깨끗하였고 부착력도 우수하였다. 유기계 바인더와 P-25의 비율에 따른 광분해 실험 결과를 그림 6에 나타내었다. 결과에서 보듯이 유기계 바인더와 P-25의 비율이 1.6: 10일 때 IPA 분해 효율이 가장 우수하였는데, 이는 알루미늄 금속판 표면에 코팅된 광촉매가 UV를 받아 활성을 일으킬 때 바인더로 인한 활성저해 요인이 줄었기 때문인 것으로 생각된다.

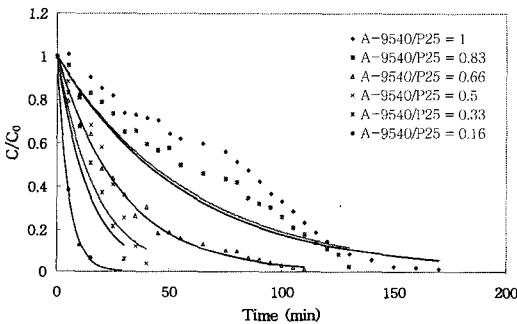


그림 6. 유기계 바인더(A-9540) 비율에 따른 IPA 분해 효율

3.5 P-25와 타사 제품간의 IPA 분해 효율 비교

선행 실험결과, P-25와 유기계바인더(A-9540)의 혼합 비율을 1.6: 10으로 배합된 코팅액으로 코팅한 알루미늄 금속판에서 IPA 분해 효율이 가장 우수한 것을 알 수 있었다. 본 연구에서 P-25와 배합한 코팅액과 상용화된 타사(A사, B사) 광촉매 제품과의 광분해 실험을 수행, 그 결과를 그림 7에 비교하였다.

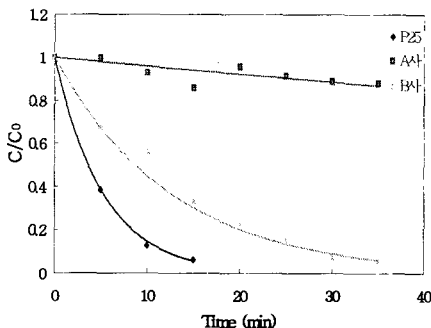


그림 7. 타사 TiO₂ 제품과의 IPA 분해 효율 비교

상용화된 타사 제품과의 성능 비교 결과, 본 연구에서 사용한 바인더(A-9540): P-25의 비율을 1: 6로 배합하여 코팅한 알루미늄 판의 IPA 분해 효율이 가장 우수하였다.

4. 결론

본 실험에서 광촉매 P-25를 알루미늄 금속판에 코팅하여 IPA 분해 활성을 고찰한 결과, 다음과 같은 결론을 유추해 낼 수 있었다.

1. 무기계 바인더(silica sol)인 KR-400, 유·무기복합 바인더(silane)인 TMOS, 유기계 바인더(polyol)인 A-9540를 사용하여 코팅한 알루미늄 금속판의 표면상은 모두 깨끗하였고 부착력은 무기계 바인더를 제외한 바인더에서 우수한 것으로 나왔다. 또한 IPA 분해 효율은 무기계 바인더 < 유·무기 복합 바인더 < 유기계 바인더 순으로 나타났다.
2. 유·무기복합 바인더와 P-25의 비율을 10: 10, 8.3: 10, 6.6: 10, 5: 10, 3.3: 10, 1.6: 10으로 바꾸어 광분해 실험을 수행한 결과, 1.6:10일 때 IPA 분해 효율이 가장 우수하였다.
3. 상용화된 타사(A사, B사) 제품과의 성능 비교 결과, 본 연구에서 사용한 바인더(A-9540): P-25의 비율을 1: 6로 배합하여 코팅한 알루미늄 판의 IPA 분해 효율이 가장 우수하였다.

참고문헌

- [1] T. Hisanaga, K. Harada, K. Tanaka, "Photocatalytic degradation of organochlorine compounds in suspended TiO₂," J. Photochem. Photobiol. A: Chem., 54, p.113, 1990
- [2] A. Bouzaza, A. Laplanche, "Photocatalytic degradation of toluene in the gas phase: comparative study of some TiO₂ supports," Photochem. Photobiol. A: Chem., 150, p.207, 2002
- [3] A. Mills, R.H. Davies, D. Worsley, "Water-purification by semiconductor photocatalysis." Chem. Soc. Rev., 22, p.417, 1993
- [4] H. Yamashita, M. Harada, J. Misaka, M. Takeuchi, K. Ikeue, M. Anpo, "Comparison of the processes induced by nitrogen dilution on the photodissociation of silane and disilane at 193 nm," J. Photochem. Photobiol. A: Chem., 148, pp.257, 2002

- [5] A.J. Bard, "The Design of Semiconductor Photoelectrochemical Systems for Solar Energy Conversion," J. Phys. Chem., 86, p.172, 1982
- [6] A. Fujishima, K. Honda, "Electrochemical Photolysis of Water at a Semiconductor Electrode," Nature, 238, p.37, 1972
- [7] J. F. Zhi, H. B. Wang, and A. Fujishima, "Development of Photocatalytic Coating Agents with Indicator Dyes," Ind. Eng. Chem. Res., 41, p.726, 2002
- [8] J. Péral, D.F. Ollis, "Heterogeneous Photocatalytic Oxidation of Gas-Phase Organics for Air Purification: Acetone, 1-Butanol, Butyraldehyde, Formaldehyde, and m-Xylene Oxidation," J. Catal., 136, p.554, 1992

박재현(Jae-Hyeon Park)

[정회원]



- 1987년 2월 : 한양대학교 화학공학과 (공학사)
- 1989년 2월 : 한양대학교 화학공학과 (공학석사)
- 1995년 10월 : University of Illinois at Chicago 화학공학과 (공학박사)
- 1996년 1월 ~ 현재 : 한국에너지기술연구원 선임연구원

<관심분야>

유동층 화학기상증착, 광촉매, 나노기술, 환경오염물 저감.

하진욱(Jin-Wook Ha)

[정회원]



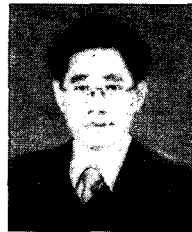
- 1986년 2월 : 연세대학교 화학공학과 (공학사)
- 1990년 8월 : (미)Univ. of Illinois 화학공학과(공학석사)
- 1993년 5월 : (미)Univ. of Illinois 화학공학과(공학박사)
- 1995년 3월 ~ 현재 : 순천향대학교 환경공학과 부교수

<관심분야>

광촉매, 기능성 코팅, 대기·수질 정화

유동식(Dong-Sik Yu)

[정회원]



- 1984 2월 : 동아대학교 화학과 (학사)
- 1986년 2월 : 부산대학교 화학과 (이학석사)
- 2005년 ~ 현재 : 순천향대학교 박사 과정, 경운대학교 강의 전담 교수

<관심분야>

기능성 코팅, 광촉매, 안경재료