

광촉매가 코팅된 알루미늄 금속판의 이소프로필 알코올(IPA) 광분해 특성 고찰

유동식, 하진욱*
 순천향대학교 신소재화학공학부
 (chejwh@sch.ac.kr*)

Characteristics of Photocatalytic Degradation of Isopropyl Alcohol on TiO₂-coated Aluminium Plate

Dong-sik Yu, Jin-Wook Ha*
 Division of Material and Chemical Eng., College of Eng.,
 Soonchunhyang University
 (chejwh@sch.ac.kr*)

1. 서론

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.

특히 수많은 화합물의 총칭으로 불리는 휘발성유기화합물(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 생활주변에서 흔하게 사용되는 탄화수소류들이 거의 VOC에 속한다. VOC는 인체 및 동식물에 유해한 2차 오염물질인 광화학 산화물을 형성하는 전구물질로서 오존오염을 증가시켜 오존 주의보 및 경보발령의 원인이 되고 있다.

첨단과학 기술을 환경에 적용하는 분야로 고급산화공정(Advanced Oxidation Process, AOP)을 생각할 수 있다. 강력한 산화제인 OH 라디칼을 생성하여 오염물질을 산화, 분해시키는 공정 중에서 TiO₂ 광촉매를 이용한 오염물질의 산화, 분해는 최근에 특히 많이 연구가 이루어지고 있다[1][2].

산업 현장에서 배출되는 기상 유기화합물은 대개 유량이 크고 농도가 낮기 때문에 기존의 제거 기술로 처리하기에는 비경제적이다. 광촉매를 이용한 방법은 흡착법이나 고온 소각법에 비해 2차 오염원을 발생시키지 않으므로 환경 친화적이며 초기 투자비나 유지비가 저렴하다. 또한 광촉매 공정은 1)오염물질의 완전산화/분해 2)상온 상압 및 저온에서 처리 가능 3)액상 및 기상 오염물질 처리 가능 4)COD 및 색도, 냄새 제거 가능 5)다양한 고기능성 응용제품 개발가능 6)초기 투자비 및 운전비 저렴 7)태양에너지 이용과 같은 장점을 가지고 있으므로 환경정화 분야에 널리 적용될 수 있다[3][4][5].

본 연구에서는 광촉매 TiO₂를 알루미늄 금속판에 고정화시켜 대기오염을 일으키는 VOC 물질중 하나인 IPA(Isopropyl Alcohol)의 분해에 대한 광분해 효율을 알아보려고 한다.

2. 실험

알루미늄 금속판을 활용한 공기정화 실험은 크게 알루미늄판 전처리, 광촉매 코팅, 광분해활성 실험 등으로 구성되어 있다. 기본적으로는 TiO₂ 분말 상태의 Degussa제품인 P-25를 사용하였으며, 무기계 바인더(Silica Sol)인 KR-400, 유·무기 복합 바인더

(Silane)인 TMOS, 유기계 바인더(Polyol)로는 A-9540를 첨가한 광분해 활성을 각각 비교, 고찰, 그 중 가장 효율이 좋은 바인더를 선택하여 바인더의 비율에 따른 분해 효율의 차이를 고찰하였다. 또한 P-25와 상용화된 타사 제품과의 IPA의 분해 효율의 차이를 비교하였다.

2.1 알루미늄 금속판 전처리

알루미늄 금속판 표면의 이물질들을 제거하기 위하여 IPA(Isopropyl Alcohol)를 사용하여 세척 후 건조시켜 사용하였다.

2.2 광촉매 코팅

알루미늄 금속판에 광촉매를 코팅하기 위하여 TiO₂: 바인더(무기계, 유기계, 유·무기 복합): MEK(Methyl Ethyl Ketone)를 질량비로 1: 1: 7 배합하여 코팅액을 제조하였다. 또한 세 개의 바인더 중 부착력과 분해 효율이 모두 우수한 바인더를 선택하여 P-25와 바인더의 질량비를 바꾸어 가며 코팅액을 제조하였다. 이렇게 제조된 코팅액을 볼밀로 잘 분산시켜 세척된 알루미늄 금속판에 bar-coating 방식으로 코팅을 하였다. 코팅된 모든 알루미늄 금속판은 drying oven에서 90℃, 60분으로 경화시켜 알루미늄 금속판의 코팅 면을 관찰하였다.

2.3 광분해 실험

석영재질의 원통형 반응기 안에 광촉매가 코팅된 알루미늄 금속판 4개(2.5cm×10)를 설치한 후 반응기의 sampling port를 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 0.5ml 씩 채취하여 주입, IPA의 잔여 농도를 측정하였다. 분석에 사용된 GC의 분석조건은 Column은 HP-1, 30m × 0.321mm × 0.25 μm, 60℃ to 325℃, 온도는 Oven Temp. 30℃, Injector Temp. 150℃, Detector Temp. 200℃로 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 P-25 파우더 양에 따른 IPA의 분해활성 비교

광촉매의 양에 따른 IPA(430ppm)의 분해 효율을 알아보기 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 Figure 1에서 보듯이 촉매의 양이 많을수록 활성이 증가하는 것을 볼 수 있었다. 한편, 촉매의 양이 0.02g에서 0.03g으로 증가하였을 경우 활성의 증가는 크지 않았다. 이러한 결과는 430ppm의 IPA분해에 0.02g의 P-25가 충분한 양임을 암시하는 결과이다.

3.2 IPA 농도에 따른 광촉매 분해활성 비교

실험결과, 0.02g의 P-25를 가지고 IPA의 농도를 215ppm, 430ppm, 1000ppm으로 변화하여 광분해 효율을 고찰하였다. Figure 2에서 보듯이 215ppm의 IPA는 9분 30초 만에 80%이상 분해 되었고 1000ppm의 IPA는 24분 만에 거의 분해 되는 것을 볼 수 있었다.

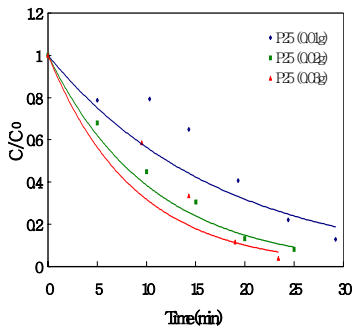


Figure 1. P-25 파우더 양에 따른 IPA의 분해활성 비교

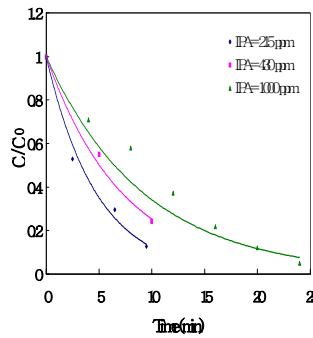


Figure 2. IPA농도에 따른 광촉매 분해활성 비교

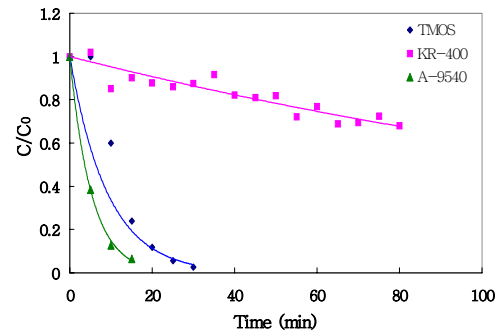


Figure 3. 바인더 종류에 따른 IPA 분해 효율

3.3 알루미늄에 코팅된 바인더 종류에 따른 IPA분해 효율

무기계 바인더(Silica Sol)인 KR-400, 유·무기 복합 바인더(Silane)인 TMOS, 유기계 바인더(Polyol)인 A-9540의 사용에 따른 IPA 분해 효율의 차이를 비교하여 Figure 3에 나타내었다. 코팅액은 바인더: P-25: MEK을 질량비로 1: 1: 7 배합하여 제조하였으며 코팅층 물성 고찰결과 광촉매가 코팅된 알루미늄 금속판의 표면 상태는 모두 깨끗하였고, 부착력은 무기계 바인더를 사용하였을 경우에 가장 나빴으며, 유기계 바인더를 사용하였을 때 가장 우수하였다. Figure 3에 나타난 광분해 효율을 보면 무기계 바인더 사용한 경우 다른 종류의 바인더와는 다르게 IPA 초기농도 값이 매우 작게 나왔는데 이는 반응기의 평형을 기다리는 동안 흡착이 일어났기 때문이라고 생각된다. 한편 유기계 바인더를 사용한 경우, IPA 분해 효율이 매우 우수하였고, 유무기 복합 바인더를 사용하여 코팅한 알루미늄판의 IPA 분해 효율 또한 우수하였다.

3.4 유기계 바인더(A-9540)의 비율에 따른 IPA분해 효율

선행 실험결과, 유기계 바인더(A-9540)를 사용하여 코팅한 알루미늄 금속판이 IPA분해 효율이 가장 우수하였고 코팅층 표면물성도 우수한 것으로 나왔기 때문에 P-25와 바인더 비율에 따른 IPA분해 실험에서는 유기계 바인더를 사용하여 분해 효율을 고찰하였다. 유기계 바인더와 P-25를 10: 10, 8.3: 10, 6.6: 10, 5: 10, 3.3: 10, 1.6: 10비율로 바꾸어 실험을 수행하였다. 각각의 비율로 코팅되어진 알루미늄 금속판 표면 상태는 모두 깨끗하였고 부착력도 우수하였다. 유기계 바인더와 P-25의 비율에 따른 광분해 실험결과를 Figure 4에 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.

3.5 본 연구와 상용화된 타사 제품과의 PA 분해 효율 비교

선행 실험결과, P-25와 유기계바인더(S-9540)의 혼합비율을 1.6: 10으로 배합한 코팅액이 효율이 가장 우수한 것을 알 수 있었다. 비율일 때 IPA 분해 효율이 가장 우수한 것을 알 수 있었다.

본 연구에서 배합한 코팅액과 상용화된 타사(A사, B사) 제품과의 광분해 실험을 수행, 그 결과를 Figure 5에 비교하였다. 상용화된 타사 제품과의 성능비교 결과, 본 연구

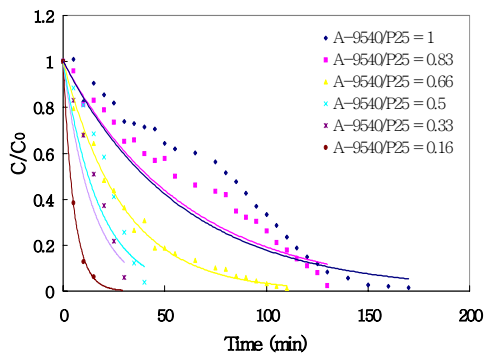


Figure 4. P-25/유기계 바인더(A-9540)의 비율에 따른 IPA분해 효율

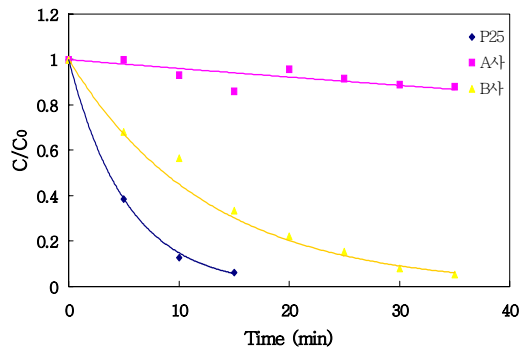


Figure 5. 본 연구와 상용화된 타사 제품의 IPA분해 효율 비교

에서 사용한 바인더(A-9540): P-25의 비율을 1: 6로 배합하여 코팅한 알루미늄 판의 IPA 분해 효율이 가장 우수하였다. 타사 제품들의 분해 효율이 우수하지 못했던 것은 코팅액의 배합조건과 배합에 사용된 바인더의 광분해 효율 저해현상 때문으로 생각된다.

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 기계 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 성능비교 결과, 본 연구에서 사용한 바인더(A-9540): P-25의 비율을 1: 6로 배합하여 코팅한 알루미늄 판의 IPA분해 효율이 가장 우수하였다.

참고문헌

1. T. Hisanaga, K. Harada, K. Tanaka, *J. Photochem. Photobiol. A: Chem.*, 54, 113(1990)
2. A. Bouzaza, A. Laplanche, *J. Photochem. Photobiol. A: Chem.*, 150, 207(2002)
3. F. W. Wilkins, D. M. Blake, *Chem. Eng. Prog.* 90, 41(1994)
4. N. N. Lichtin, M. Avudaithai, *Environ. Sci. Technol.* 30, 2014(1996)
5. M. Kaneko, I. Okura(Eds.), *Photocatalysis*, Kodansha, Tokyo,(2002)