

오염물 분해를 위한 가시광선 영역에서의 고성능 광촉매

김기출

목원대학교 도시환경·화학공학과

e-mail: kckim30@mokwon.ac.kr

Advanced Photocatalysts for Decomposition of Pollutants in the Visible Light Range

Ki-Chul Kim

Department of Urban Environmental Chemical Engineering, Mokwon University

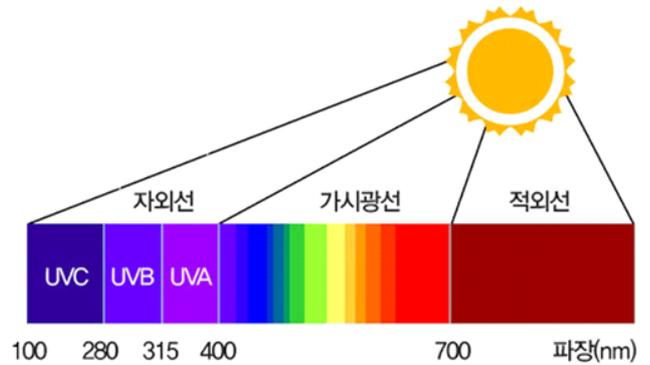
요약

지속 가능한 사회를 위해 해결해야 할 많은 문제 중 환경 오염문제는 반드시 해결해야 할 시급한 문제이다. 특히 인간의 건강에 해가 되는 미세먼지, 폐수(wastewater), 질소산화물(NO_x), 황산화물(SO_x), 휘발성 유기화합물(VOCs, Volatile Organic Compounds) 등의 유해물질을 제거하기 위해 많은 연구가 진행 중에 있다. 광촉매 소재는 대기정화, 폐수처리 뿐만 아니라, 질소산화물, 황산화물을 90% 이상 제거할 수 있는 탁월한 효과를 가지고 있기 때문에 주목을 받고 있다. 본 연구에서는 지구 표면에 입사하는 태양광의 가시광선 영역(39%) 및 자외선 영역(8%)에서 탁월한 광분해 효과를 갖고 있는 h-MoO₃ 나노막대 및 TiO₂@r-GO 복합소재의 광촉매 특성에 대하여 연구하였다. 연구결과 수열합성법으로 합성된 h-MoO₃ 나노막대의 광분해 특성이 특히 우수하여 가시광선을 조사하였을 경우, 메틸렌블루 용액을 45분 만에 94% 분해할 수 있었다.

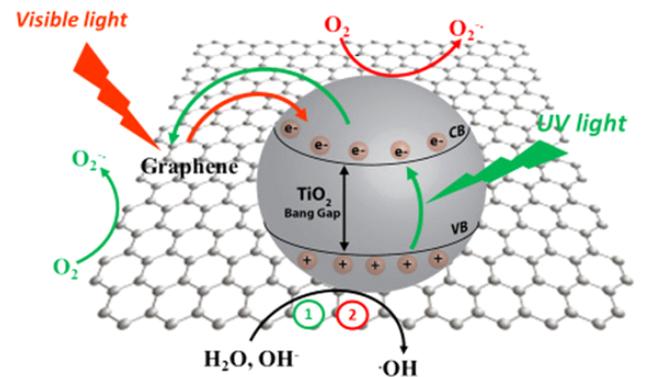
1. 서론

1945년 2차 세계대전이 끝나면서, 베이비붐 시대를 맞이하여 지구의 인구는 급격히 증가하였고, 2021년 기준으로 78억 7천만 명 이상의 인구가 살고 있다. 또한 산업의 발전과 생활 수준이 향상되면서 에너지 소비량 또한 급격히 가속화 되었다. 1700년대 중반의 산업혁명 이후 인류는 에너지 얻기 위해 석탄을 지속적으로 소비하고 있으며, 1880년대에 내연기관이 자동차에 적용되고 1920년대에 자동차의 보급이 확대 되면서 석유의 소비량도 급격히 증가하였다.

2018년 기준, 인류가 소비하고 있는 에너지원의 비중을 살펴보면, 석유 33.9%, 석탄 28.6%, 천연가스 24.6%, 바이오연료(전통적인 나무 포함) 7.3%, 수력 2.6%, 원자력 1.7%, 풍력 0.66%, 태양광 0.2%, 기타 0.44% 등으로 화석연료의 비중이 87%로 압도적이다[1]. 신재생에너지(수력, 풍력, 태양광)와 원자력 에너지를 제외한 화석연료와 바이오 연료의 경우, 지구 온실가스인 이산화탄소 및 일산화탄소, 질소산화물, 황산화물, 미세먼지 등을 다량 배출하기 때문에 환경오염 문제가 심각하다. 특히 석탄 및 경유를 사용하는 디젤 기관의 경우, 이산화탄소 이외의 환경오염 물질을 다량으로 배출하기 때문에 대기의 질을 급격히 저하시키는 문제가 있다[2].



[그림 1] 지구의 표면에 입사하는 태양광 에너지의 파장에 따른 구분. 적외선(파장 780 nm 이상, 53%), 가시광선(파장 400 nm ~ 780 nm, 39%), 자외선(파장 400 nm 이하, 8%)



[그림 2] TiO₂@graphene 복합체의 가시광선 영역에서의 광촉매 구동 메커니즘

광촉매 소재는 대기정화, 폐수 처리 뿐만 아니라 질소산화물, 황산화물, 휘발성 유기화합물 등을 90% 이상 제거할 수 있는 탁월한 효과를 가지고 있기 때문에 주목을 받고 있다 [3-5]. 대표적인 광촉매 소재는 이산화티탄(TiO_2) 나노입자인데, TiO_2 는 3.2 eV의 밴드갭 에너지를 갖고 있기 때문에 광분해 반응이 자외선 영역의 파장에서만 일어난다[3]. 하지만 지구 표면에 입사하는 태양 빛 중에서 자외선이 차지하는 비중은 8%정도이어서 보다 낮은 에너지 영역에서도 높은 광분해 효과를 나타내는 광촉매의 개발이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 가시광선 영역에서도 광촉매 특성이 나타나는 TiO_2 나노입자와 환원 그래핀 옥사이드(r-GO)를 복합화한 광촉매[4]와 밴드갭 에너지가 2.8 ~ 3.0 eV인 h- MoO_3 나노막대[5]를 합성하여 가시광선 및 자외선 영역에서 광분해 특성을 메틸렌블루 용액으로 연구하였다.

2. 실험 방법

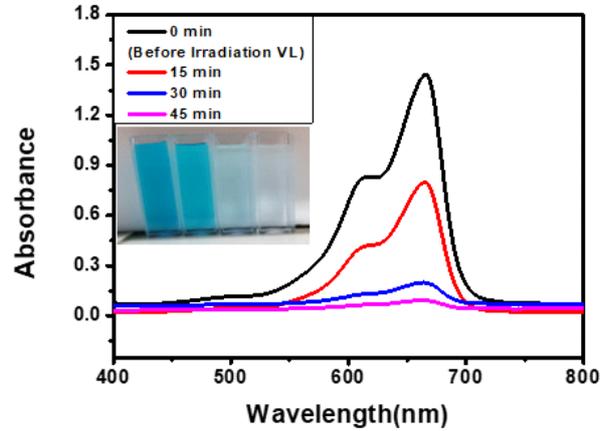
TiO_2 는 Sol-Gel 합성법을 이용하여 합성하였고, 전구체는 Titanium(IV) isopropoxide와 2-propanol, 증류수가 사용되었다[3]. 그래핀 옥사이드는 Hummer's 방법으로 합성되었으며 [4], 가수분해된 Titanium isopropoxide와 복합체 형태가 되기 전에 sonication을 이용하여 초음파 박리과정을 거쳤다.

h- MoO_3 나노막대는 수열합성법으로 합성되었으며, 전구체는 $AHM((NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O)$ 를 사용하였고, 증류수와 반응촉진제로 질산이 사용되었다[5].

합성된 광촉매 소재의 광분해 특성은 20 ppm의 메틸렌블루 용액을 이용하여 확인하였다. 광원은 5 watt의 LED 램프(가시광선)와 6 watt의 UV 램프(파장 254 nm)를 사용하였다. 광분해 특성은 UV-visible spectrometer로 흡광도를 측정하였다. 빛을 조사하여 15분마다 샘플을 채취하고 다시 원심분리를 진행하는 방식으로 메틸렌블루가 완전히 분해될 때까지 반복하였다.

3. 실험결과 및 고찰

[그림 3]은 LED 램프(가시광선, VL)을 조사하면서 VL 조사 시간에 따른 메틸렌블루 용액의 흡광도를 측정한 결과이다. 아무런 빛도 조사되지 않도록 암흑조건에서 20 ppm의 메틸렌블루 용액 50 ml에 0.125 g의 h- MoO_3 파우더를 첨가하여 30분 동안 교반한 후, h- MoO_3 파우더를 원심 분리한 용액의 흡광도를 기준으로 했으며, VL 조사 15분마다 용액을 채취하여 원심 분리 후 흡광도를 측정하였다. 삽입된 이미지는 퀴즈 튜브에 담긴 메틸렌블루 용액의 사진이며, 광분해가 진행될수록 푸른 색깔에서 투명하게 변하는 것을 관찰할 수가 있다. 45분 VL 조사 후에 94%의 메틸렌블루가 광분해 되는 결과를 얻었다.



[그림 3] 수열합성법으로 합성된 h- MoO_3 나노막대의 메틸렌블루 용액 광분해 특성 평가 결과(15분 45% 분해, 30분 86% 분해, 45분 94% 분해)

참고문헌

- [1] 한스 로슬링 외, "팩트폴니스", 김영사, p. 192, 2019.
- [2] American Chemical Society, "Chemistry in Context : Applying Chemistry to Society", 사이플러스, 2021.
- [3] C. Leyva-Porras et al., "Low-temperature synthesis and characterization of anatase TiO_2 nanoparticles by an acid assisted sol-gel method", Journal of Alloys and Compounds, Vol. 647, pp. 627-636, 2015.
- [4] Dayu Liang et al., "One-step hydrothermal synthesis of anatase TiO_2 /reduced graphene oxide nanocomposites with enhanced photocatalytic activity", Journal of Alloys and Compounds, Vol. 582, pp. 236-240, 2014.
- [5] A. Chithambararaj et al., "Preparation of h- MoO_3 and α - MoO_3 nanocrystals: comparative study on photocatalytic degradation of methylene blue under visible light irradiation", Physical Chemistry Chemical Physics, Vol. 15, pp. 14761-14769, 2013.