

광촉매와 분리막 혼성공정을 이용한 자연산 유기물 제거

박경원, 추광호

대구대학교 건설환경공학부

Removal of Natural Organic Matter Using a Photocatalytic Membrane Reactor

Kyong-Won Park, Kwang-Ho Choo

Department of Architecture, Civil, and Environmental Engineering,
Daegu University

1. 서론

산업의 다변화와 정밀화학 산업의 발전으로 다양한 유기오염물질이 검출되고 있으며, 이로 인한 음용수 및 하폐수 기준에도 이들 물질에 대한 기준이 최근 대폭 강화되고 있다. 또한 기존 처리공정의 한계를 극복하고 양호한 처리수질을 확보하기 위해 다양한 고도처리 기술이 소개되고 있다. 그 중 광촉매 반응을 이용한 수처리 기술과 분리막을 이용한 기술은 유기물 제거에 효과적인 것으로 알려졌다. 광촉매를 이용한 수처리 기술은 난분해성 유기 오염물질도 상온, 상압 상태에서 제거할 수 있고 2차 오염물질의 발생이 작은 장점이 있다[1]. 광촉매 입자중 TiO_2 는 자외선이 조사될 때 전자수용체(전자, 정공)가 입자에서 발생하고 이 발생된 전자수용체는 산화 혹은 환원작용에 의하여 강력한 산화제인 OH 라디칼을 생성시켜 유기 및 무기 물질을 분해하게 된다[1,2]. 비록 광분해 반응이 유기물질의 제거를 위해 매우 우수한 것으로 알려져 있으나 처리수와 광촉매의 분리는 실공정에 많은 어려움이 있다. 그래서 분리막을 이용한 연구가 많이 진행되고 있다[1,3]. 또한 분리막 기술은 작은 소요공간과 시설확충의 용이성, 세공크기에 따른 선택적 제거특성으로 다양한 공정에서 이용되고 있다.

따라서 본 연구에서는 실제 호소수를 원수로 사용하여, 자연산 유기물(NOM)을 제거하기 위한 광반응 공정에 막분리 기술을 접목시켜 운전하였다. 또한 유기물의 탈착으로 인한 제거율 저하현상을 막기 위해 산화철입자의 주입실험을 수행하였다. 광촉매와 분리막에 의한 NOM 제거특성과

산화철의 주입에 따른 제거율 변화와 운전에 따른 막여과 성능을 심도있게 고찰하였다.

2. 실험 재료 및 방법

본 연구에 사용된 실험장치는 광분해가 일어나는 반응기와 광촉매를 분리하는 막모듈로 크게 구분되며 반응기 내부에는 자외선 램프를 중앙에 설치하였고 자석교반기를 이용하여 반응조를 완전혼합상태로 유지하였다. 용액에서 처리수와 광촉매를 분리하기 위한 막모듈은 흡입방식으로 중공사막(Mitsubishi)을 사용하여 막의 내부직경 270 μm , 외부 직경 410 μm , 세공크기 0.1 μm , 펌프유량 1.5 mL/min로 운전하여 막투과 플럭스를 15 L/m² · hr로 일정하게 유지 시켰다.

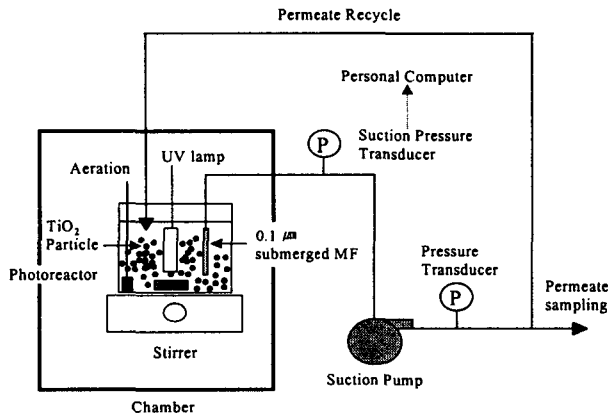


Fig. 1. Schematic of a lab-scale photocatalysis/microfiltration system.

실험에 사용된 원수는 자연 원수로 대구대학교 경산캠퍼스 앞 문천지 호소수를 사용했는데 원수의 DOC(dissolved organic carbon)농도가 5-6 mg/L 이었다. 광촉매 입자는 Degussa의 P25를 사용하였고 농도는 0.1, 0.2, 0.5, 1.0, 2.0, 5.0 g/L 각각 실험하였으며 경우에 따라서 IOP(iron oxide particles) 50 mg/L를 주입했다. 광반응은 광촉매를 주입한 후 약 30분 정도의 완전혼합 후 공기주입 및 자외선 조사를 시작하였으며 동시에 막분리장치도 운전을 시작하였다. 운전이 진행되는 동안 처리효율을 평가하기 위하여 투과액 시료를 채취하였다.

3. 결과 및 고찰

3-1. TiO_2 농도별 제거효율

TiO_2 주입량을 변화시키면서 광분해에 따른 자연산 유기물의 제거율을 살펴보았다. 일반적으로 광촉매반응에서는 촉매량의 증가에 따라 반응속도가 증가하다가 적정 촉매량 이상에서는 더 이상 반응속도 증가되지 않게 된다. 즉 광촉매가 광 에너지를 완전히 흡수할 수 있을 때까지는 촉매량 증가에 따라 반응속도가 증가하지만 그 이상에서는 반응 속도의 증가 효과를 볼 수 없게 된다[4]. Fig. 2에서도 TiO_2 양이 증가함에 따라 반응속도의 증가로 DOC 제거율이 높아짐을 볼 수 있다. 그러나 5.0 g/L 에서는 DOC 제거율이 0.2 g/L와 비슷하게 낮아짐을 볼 수 있다. 이것은 지나치게 많은 촉매가 오히려 용액내의 빛의 투과를 방해하기 때문에 광분해 효과가 저하되는 것으로 판단된다. 따라서 최적의 TiO_2 주입량은 1.0 g/L로 판단된다.

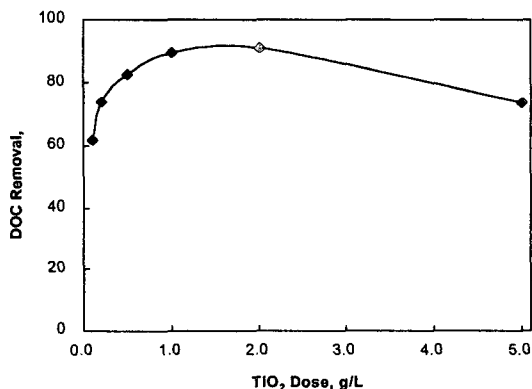


Fig. 2. Effect of TiO_2 dose on DOC degradation efficiency: reaction time, 3 hours.

3-2. IOP 첨가에 따른 자연산 유기물 분해

Fig. 3은 TiO_2/UV 공정에 IOP 50 mg/L를 주입했을 때 반응시간에 따른 DOC 제거율을 나타냈다. 광조사가 없는 초기 30분간은 흡착혼합 과정으로 IOP를 주입한 경우에 모두 30% 이상의 높은 흡착 제거율을 보였다. 광분해 100분간은 거의 비슷한 제거율을 보였으나 그 이후부터는 IOP(hematite)를 첨가한 경우가 가장 제거율이 높았고 IOP(ferrihydrite)나 IOP(goethite)는 오히려 광분해를 방해하는 결과를 얻었다. IOP(ferrihydrite)를 100 mg/L로 주입했을 때는 초기에 흡착에 의한 훨씬 높은 제거율을 보였으나 최종적인 제거율은 더 낮게 나타났다. 이것은 산화철의 높은 흡착력이 광반응 진행과 함께 그 중요성이 상대적으로 약화되고 있음을 시사해 주었

다. 그러나, hematite는 광분해에 도움이 역할을 한다고 판단되며 추가적인 연구가 요구된다.

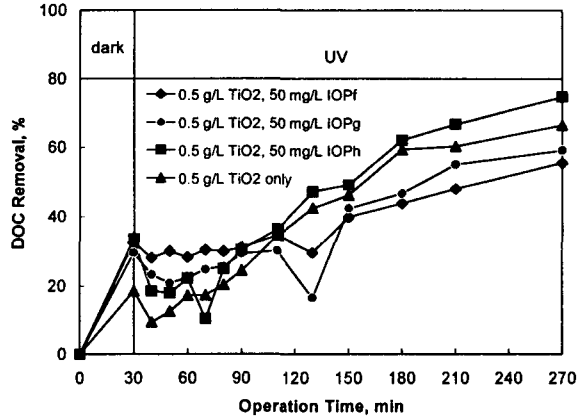


Fig. 3. Variation of NOM removal with time using TiO₂ and IOP: UV intensity, 8W.

3-3. 운전에 따른 막여과 특성

막투과 플럭스를 15 L/m²·hr로 운전했을 때 운전시간에 따른 막투과 압력은 모든 실험에서 압력값이 -1~-2 kpa 사이로 나타났다. 이것은 15 L/m²·hr 플럭스에서 운전했을 때 TiO₂나 산화철이 거의 막오염을 일으키지 않음을 보여준다고 하겠다.

4. 참고문헌

- [1] S. Lee, K.H. Choo, H.I Lee, T. Hyun, W. Choi, and H.H. Kwon, Use of ultrafiltration membranes for the separation of TiO₂ photocatalysts in drinking water treatment, *Ind. Eng. Chem. Res.*, 40, 1712 (2001)
- [2] S.J. Kim and S.K. Shin, Decomposition of chlorinated acetaldehydes by suspended photocatalytic UV/TiO₂/H₂O₂ system, *J. of KSEE*, 21(2), 263-275 (1999)
- [3] H.W Lee, Development of a Hybrid Membrane system Coupled with Adsorption for Reclamation and Reuse of Wastewater, *J. of KSEE*, 21(9), 1717-1725 (1999)
- [4] D. Robert, B. Dongui and J.V Weber, Heterogeneous photocatalytic degradation of 3-nitroacetophenone in TiO₂ aqueous suspension, *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry* 156 195-200 (2003)