

TiO₂ 광촉매를 이용한 *Pseudomonas* sp.의 살균에 관한 연구

김태영*, 박경희, 나재현¹, 박기민¹, 정재훈¹, 조성용¹ 김승재^{1,2}
 전남대학교 공업기술연구소, ¹전남대학교 환경공학과, ²전남대학교 환경연구소
 (tykim001@chonnam.ac.kr*)

A Study of Sterilization of *Pseudomonas* sp. Using Titanium Dioxide Photocatalyst

T. Y. Kim*, K. H. Park, J. H. Na¹, K. M. Park¹, J. H. Jeng¹, S. Y. Cho¹ S. J. Kim^{1,2}
 Engineering Research Institute, ¹Department of Environmental Engineering,
²Environmental Research Institute, Chonnam National University
 (tykim001@chonnam.ac.kr*)

Introduction

의료 시설의 발달과 수요의 급증으로 인한 병원들의 증가로 병원에서 배출되는 폐수에 대한 관심이 커지게 되었다. 환자들이 지닌 병원성 균들이 폐수에 함유되어 배출되었을 때, 시민들의 감염에 대한 위험성이 높아지고 있다.

병원성 세균에 의한 유독성은 미생물이나 유해·유독 물질로 오염된 식품이나 감염 경로를 통한 건강장해로써, 미생물로 인한 세균성 독성, 화학물질에 의한 화학성 독성 및 동식물 독소에 의한 자연 독성 등으로 구분된다. 이들 중 에서 가장 발생 빈도가 높은 것은 세균성 독성으로 전체 병원성 세균독성의 약 80%를 차지하고 있다. 병원성 균들은 환자가 사용한 물 또는 환자복의 세탁 등을 통해서 폐수로 유출될 수 있으며, 이러한 폐수의 유출이 문제가 되는 것은 고온의 여름 날씨가 지속될 경우에 병원에서 배출된 병원균들이 폐수에서 배양되어서 더 큰 전염을 일으킬 위험이 있기 때문이다.

최근에 개발 된 살균법 중의 하나인 TiO₂ 광촉매를 이용한 미생물 살균법은 고급산화법(advanced oxidation process : AOP)에 해당한다. 이는 기존의 산화제보다 큰 산화력을 가지는 OH 라디칼을 중간물질로 생성시켜 오염물을 제거하는 방법이다. 또한, 비교적 긴 파장의 자외선인 300~400nm 범위의 비교적 낮은 에너지를 이용하여 오존의 20배에 해당되는 살균력을 가지고 있기 때문에, 태양광을 이용할 경우 상당한 에너지를 절감할 수 있다는 장점 때문에 최근에 연구가 활발히 진행되고 있다[1-4].

따라서 본 연구에서는 병원의 폐수를 통해서 유출될 수 있는 병원성 균들에 대해 광촉매 반응에 의한 미생물의 살균 특성과 친환경적 소재에 광촉매를 코팅하여 병원성 세균의 처리에 대한 기초 자료를 제공하고자 한다.

Materials and Methods

TiO₂ 광촉매를 제조하기 위해 출발물질로서는 금속 알콕사이드인 titanium tetraisopropoxide을 사용하였으며, 가수분해 반응을 위해 증류수를 첨가하였으며, 산촉매로 HNO₃, 졸의 용매제로 Isopropyl alcohol을 사용하여 제조하였다.

TiO₂ 광촉매를 키토산 비드에 침착 시키기 위해 chitosan colloid 용액에 TiO₂ powder를 첨가하여 졸-겔법을 이용하여 일정한 크기의 구형 chitosan 광촉매를 제조하였다.

병원 폐수의 방류수에 포함되어 나오는 병원성 세균을 분리하기 위해 Luria-Bertani media를 만들어 사용하였으며, Buffer 용액인 PBS (10×)로 각 시간에 채취한 균주를 10⁸

cfu/ml 까지 희석한 후 고체배지에 0.1 ml를 접종하여 33 °C의 incubator에서 24시간 배양하여 병원성 균의 colony 수를 조사하여 분석하였다.

Result

병원 폐수로부터 분리한 *Pseudomonas* sp.의 광촉매 살균 실험을 위해 pH가 7.4, 온도가 33 °C의 조건에서 광촉매의 농도가 0.25 ~ 1.0 g/l 일 때, 살균 시간에 따른 *Pseudomonas* sp.의 생존율을 Fig. 1에 나타내었다. 그림에서 보는바와 같이 UV 광원이 없을 때는 시간에 따른 *Pseudomonas* sp. 살균이 거의 되지 않았지만, UV조사 하에 TiO₂ 농도가 0.25 g/l에서 1.0 g/l까지는 TiO₂의 농도가 증가함에 따라 살균율이 크게 증가하였으며, TiO₂ 농도가 1.0 g/l일 때 반응 시간이 30분이 경과하면 살균율이 60 %, 120분이 경과하면 거의 살균됨을 알 수 있었다.

Fig. 2는 pH가 7.4 온도가 25°C인 조건에서 chitosan bead에 TiO₂를 코팅한 광촉매를 이용하여 *Pseudomonas* sp.의 생존율을 나타낸 그림이다. 그림에서 보는 바와 같이 no-UV 상태와 UV 빛을 조사하지 않고 TiO₂ 1g을 넣었을 경우 균의 생존율은 거의 100% 이었다. 이러한 결과는 UV 빛이 없을 경우 광촉매인 TiO₂에서 OH 라디칼이 생성되지 않았기 때문으로 생각된다. TiO₂로 coating 된 chitosan bead의 투여량이 증가할수록 *Pseudomonas* sp.에 대한 살균 효율은 증가하였으며, TiO₂로 coating 된 chitosan bead 1.5g를 투여하고 살균 반응 시간이 2시간 경과하면 *Pseudomonas* sp.가 90% 이상 살균되었다.

Fig. 3은 고정층 광화학적 살균 장치를 이용하여 병원 폐수 내에 존재하는 병원성 세균인 *Pseudomonas* sp.에 대한 살균효과를 고찰하기 위해 초기 pH가 7.4, 온도가 33 °C의 조건에서 천연고분자인 키토산 비드에 광촉매를 코팅한 시료를 이용하여 살균 시간에 따른 *Pseudomonas* sp.의 생존율을 유속의 변화에 따라 나타낸 그림이다. 그림에서 보는 바와 같이 *Pseudomonas* sp.가 함유된 폐수를 2.3 ml/min의 유속으로 고정층 광화학적 반응장치에 상향류로 보냈을 때 약 80 % 정도의 살균효과를 나타내고 있음을 확인할 수 있었으며, 유속이 3.3 ml/min 일 때는 약 65 %의 *Pseudomonas* sp. 균을 제거함을 알 수 있었다.

Fig. 4는 3-D response surface plot을 이용한 *Pseudomonas* sp.의 사멸율을 온도와 TiO₂농도 변화에 따라 나타낸 그림이다. 그림에서 보는바와 같이 반응 시간 30분 후 최대 사멸율은 온도가 15°C, TiO₂ 농도가 1.0 g/l 일 때 68.6 % 이었다. 반응시간 90분일 때도 최대 사멸율은 온도가 15°C, TiO₂ 농도가 1.0 g/L 일 때 96.1 % 이었으며, 30분에서 *Pseudomonas* sp.의 반응표면분석법을 Table 1에 나타내었다.

Acknowledgment

이 논문은 2006년도 두뇌한국21 사업에 의하여 지원되었음.

Reference

1. B.C. Myhr, W.J. Caspary, Chemical mutagenesis at the thymidine kinase locus in L5178Y mouse lymphoma cells: Results for 31 coded compounds in the National Toxicology program, *Environ. Mol. Mutagen.* **18**, 51-83 (1991).
2. B.K. Bernard, M.r. Osherogg, A. Hofman, J.H. Mennear, Toxicology and carcinogenesis studies of dietary titanium dioxide-coated mica in male and female Fischer 344 rats, *J. Toxicol. Environ. Health* **28**, 415-426 (1989).
3. F. Bischoff, G. Bryson, Tissue reaction to and fate of parenterally administered titanium dioxide, *Res. Commun. Chem. Pathol. Pharmacol.* **38**, 279-290 (1982).

Table 1. Experimental condition and resulting responses by Box-Behnken design response surface analysis. (*Pseudomonas* sp., 30min)

Run	Variables			pH	Temperature °C	TiO ₂ concentration g/l	Death ratio %
	X ₁	X ₂	X ₃				
1	0	0	0	6.5	25	1.0	62.9
2	1	1	0	8.0	35	1.0	52.9
3	0	0	0	6.5	25	1.0	63.5
4	0	1	-1	6.5	35	0.5	51.7
5	1	0	1	8.0	25	1.5	48.9
6	-1	1	0	5.0	35	1.0	60.4
7	-1	0	-1	5.0	25	0.5	56.8
8	0	-1	1	6.5	15	1.5	56.7
9	1	-1	0	8.0	15	1.0	60.7
10	-1	-1	0	5.0	15	1.0	68.6
11	1	0	-1	8.0	25	0.5	58.5
12	0	0	0	6.5	25	1.0	61.8
13	0	-1	-1	6.5	15	0.5	65.8
14	0	1	1	6.5	35	1.5	55.2
15	-1	0	1	5.0	25	1.5	60.4
16	0	0	0	6.5	25	1.0	62.3
17	0	0	0	6.5	25	1.0	64.9

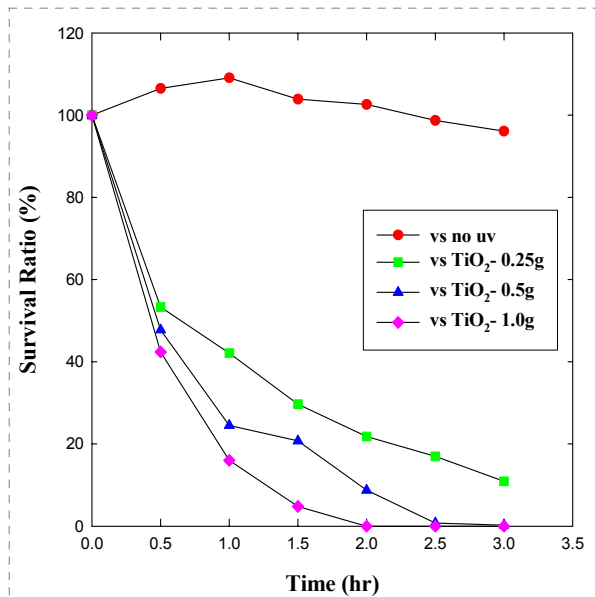


Fig. 1. Effect of TiO_2 concentration on the survival ratio of *Pseudomonas* sp.

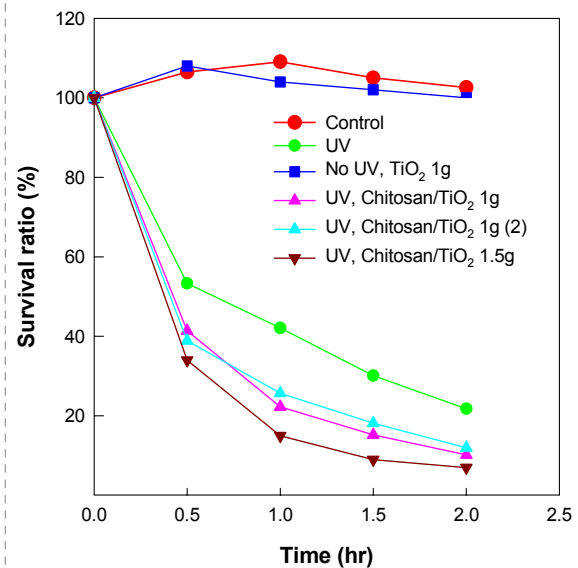


Fig. 2. Effect of the survival ratio of *Pseudomonas* sp. on chitosan bead-coated TiO_2

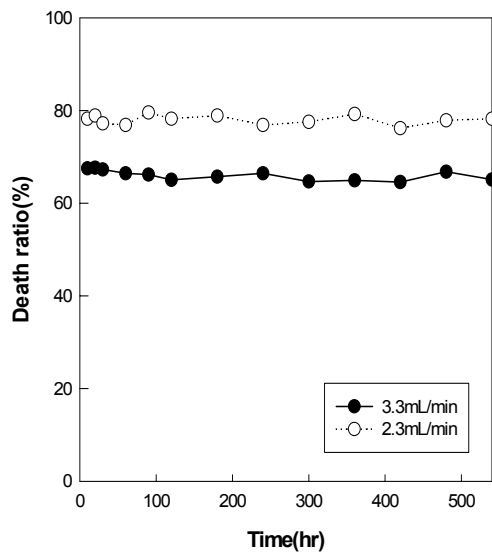


Fig. 3. Death ratio of *Pseudomonas* sp. onto chitosan bead-coated TiO_2 in a fixed photo-reactor

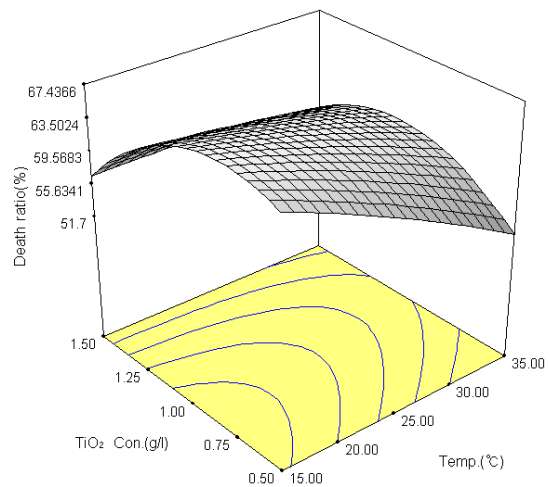


Fig. 4. 3-D response surface plot of *Pseudomonas* sp. death ratio for TiO_2 concentration against temperature.(Fixed UV illumination time and pH 6.5)