

## UV/TiO<sub>2</sub> 수처리 공정에서의 살균에 관한 연구

### A Study on the matter of Disinfection in UV/TiO<sub>2</sub> Water Treatment process

이 규 환\*      이 상 진\*\*      이 용 제\*\*      이 동 석\*\*\*  
Lee, Gyu-Hwan      Lee, Sang-Jin      Lee, Yong-Jae      Rhee, Dong-Seok

#### Abstract

This study investigated disinfection effect by general water purifier and water purifier with UV light disinfection. The results are as follows : (i) The general bacteria existed plentifully in a storage tank before treatment (ii) Water treated in water purifier did not meet the water treatment regulation standard since the presence of bacteria, whereas with UV light application the regulation standard is totally satisfied. (iii) Photocatalytic disinfection process with UV light in the presence of TiO<sub>2</sub> more effectively killed general bacteria than UV light only.

키워드 : 소독, 일반세균, 광촉매, TiO<sub>2</sub>, 자외선  
Keywords : Disinfection, general bacteria, Photocatalytic, TiO<sub>2</sub>, UV

#### 1. 서론

WHO의 보고에 의하면 전 세계적으로 매년 2백만 명 이상이 수인성 질병에 의해 사망하는 것으로 보고되고 있다[1]. 우리나라에서도 학교나 병원 등 먹는 물에서의 세균이 문제가 되는 사례가 있었다. 다양한 사건으로 인해 먹는 물에 대한 불신이 높아만 간다. 환경부는 2005년도에 '수돗물 불신 해소 관련 전 국민 여론조사'를 실시하였다. 결과는 '수돗물을 끓여서 마심' 42.3%, '수돗물을 정수해서 마심' 38.9%, '먹는 샘물을 사서 마심' 8.6% 순으로 나타났다. 여기서 볼 수 있듯이 상당수의

국민이 정수기를 이용한다.

하지만 정수기가 과연 세균에 대해 안전하다는 살피 봐야 할 것이다. 한 국내 연구결과에 의하면 세균과 염소 등을 흡착시키기 위한 정수기 내 활성탄 필터에서 오히려 세균이 번식하는 것으로 나타났다. 그리고 정수된 물을 저장하는 저장탱크는 실온보다 높은 온도를 유지함에 따라 세균이 번식하기 좋은 환경을 만들어 준다. 냄새와 맛은 정수기의 필터가 충분한 역할을 하는 반면에 세균에 대해서는 그러지 않으므로 다른 공정이 추가 되어야 할 것이다.

살균하여 마시는 물에는 이취미를 발생하지 않고, 공정이 비교적 간단한 것이 자외선이다. 정수장에서는 염소를 이용해서 세균의 발생 및 성장을 억제한다. 하지만 소독부산물인 염소가 남는 단점이 있고, 이취미를 남기며, 바이러스는 죽이지 못하는 단점이 있다. 또한 오존 소독은 잔류물을 남기지 않고 산화력이 강해 세균과 바이러스를 죽인다. 하지만

\* 강원대학교 환경공학과 석사과정  
\*\* 강원대학교 환경공학과 학사과정  
\*\*\* 강원대학교 환경공학과 교수, 이학박사

고가의 복잡한 오존발생장치가 필요하다. 자외선 살균은 물의 탁도, 색도가 높으면 광선의 투과가 낮아져 효율이 떨어진다. 하지만 물에 퀴미가 생기지 않고, 다량을 써도 해가 없는 이점이 있으나, 고가이므로 수도물에는 별로 쓰이지 않고, 호텔, 풀이나 청량음료 등의 식품 공장에서 사용한다.

생활수준이 향상됨에 따라 사람들은 더 좋은 물을 마시고, 더 좋은 물로 씻는 것을 추구하게 되었다. 따라서 몇 년 전까지만 해도 귀하고 고가이던 정수기를 비롯하여 연수기, 자화수기 등이 생활화되었다. 하지만 문제는 그런 좋은 장치들도 완벽하지 못하며 때로는 부정적인 영향이 나중에 밝혀지는 경우가 생긴다. 대표적인 예가 정수기에서의 세균번식이다. 정수process 중 중요한 과정인 전, 후활성탄 공정에서 세균이 번식하며 실온보다 높은 온도를 유지하는 저수통 또한 세균이 번식하기 좋은 환경을 유지하고 있다[1]. 따라서 정수기 업체들은 세균 번식을 막기 위한 다양한 방법을 개발하고 있는데 그 중에 한 가지가 UV를 이용한 방법이다.

UV를 이용하여 세균을 살균하는 보고는 이미 있었지만 실질적으로 사용되는 조건과는 거리가 있는 것이었다. 따라서 이번 연구에서는 실질적으로 사용되는 정수 장치와 비슷한 환경에서 UV의 살균 능력을 평가하게 되었다. 더불어 요즘 다양한 분야에서 적용되고 있는 광촉매 졸을 이용하여 UV의 살균 능력의 향상을 도모하였다.

문헌에 의하면 Ctyptosporidium이나 Giardia와 같은 원생동물은 오존이나 자외선 소독에 의해 효과적으로 사멸되어 염소소독에 비해 우수한 소독효율을 달성할 수 있는 것으로 알려져 있다.(USEPA, 1996;USEPA, 1999). 그러나 오존소독의 경우 오존발생장치 및 배오존 파괴를 위한 장치 등 부속설비가 필요하고, 이들 장치의 가격이 높아 선진국에서는 병원성 원생동물의 제거를 목적으로 자외선 소독법이 적용되고 있다. 특히 1950년대에 자외선 살균 메카니즘에 대한 연구(Dulbecco, 1950)가 이루어진 이래로 먹는 물 분야에 자외선 소독 기술 도입이 증가하여 1996년 유럽에서 자외선 소독기술을 적용하는 정수장은 2,000군데 이상으로 증가하였고, 핀란드의 헬싱키에서는 약 28만 톤/일 (≒76million gallon per day) 규모의 대용량 자외선 살균이 도입되었다.(USEPA, 2003).

한편 국내에서는 아직까지 정수장에 자외선 소독 기술이 적용되고 있지 않으며, 자외선 소독과 관련된 법규조차도 마련되어 있지 못하다. 그러나 최근 Ctyptosporidium이나 Giardia와 같은 병원성 원생동물에 의한 위험성에 대응하기 위해 자외선 소독 기술에 대한 검토가 이루어지고 있다. 몇몇 관계 연구기관에서는 파일럿 연구 수행단계에 있거나

수행할 계획에 있으며, 정부기관(환경부)에서도 자외선 소독과 관련된 법규 마련을 위한 준비를 하고 있다.

이번 연구에서는 이러한 특징을 가지는 자외선과 광촉매 졸을 이용하여 자외선만을 이용해 살균했을 경우와 자외선과 광촉매 졸 이용하여 살균했을 때의 살균력 비교를 하였다.

## 2. 실험재료 및 방법

### 2.1 실험재료

#### (1) 반응조

실험에 사용한 반응조는 윗부분의 저장조와 5개의 꼭지를 가지고 있으며, 꼭지는 살균조건을 달리하여 제작하였다. Table 1은 각 꼭지의 살균조건을 나타낸 것이다.

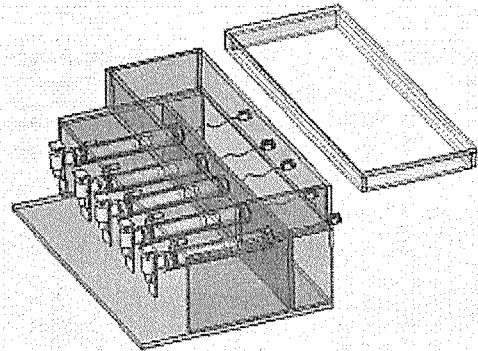


Fig. 1 반응조

Table 1 Reaction conditions

	꼭지1	꼭지2	꼭지3	꼭지4	꼭지5
장치 조건	살균 장치 없음	6W UV	11W UV	6W UV/ TiO <sub>2</sub>	11W UV/ TiO <sub>2</sub>

#### (2) 배지

일반세균의 계측을 위하여 표준한천배지와 R<sub>2</sub>A 배지를 사용하여 혼합균주배양법으로 실험하였고, 그리고 총대장균군의 추정실험에는 Lactose-Broth 배지를 사용하였다.

- (저온)일반세균(Total Colony Counts-21℃)  
R<sub>2</sub>A agar배지
- (중온)일반세균(Total Colony Counts-35℃)  
PCA배지

2.2 실험방법

배지는 각각의 특성에 맞게 제조하였다. R<sub>2</sub>A배지는 물 1L에 상기성분을 18.2g 넣고 가열하여 녹인 후, pH가 7.2±0.2가 되도록 조정된 다음 121℃에서 15분간 고압증기 멸균시킨다. 그리고 PCA배지는 증류수 300mL에 배지 7.05g을 넣어 끓을 때까지 가열하여 완전히 용해시켜 만들었다. 그리고 Lactose Broth배지는 물 1L에 상기성분을 13.0g 넣고 가열하여 녹인 후 pH가 6.9±0.2가 되도록 조정된 다음 121℃에서 15분간 고압증기 멸균시킨다. Table 2는 각각의 배지를 이용하여 저온성·중온성 일반세균 배양실험의 조건을 나타낸 것이다.

Table 2 Analysis conditions

	저온성	중온성
배지	R <sub>2</sub> A agar	PCA
온도	21℃	36±1℃
pH	7.2±0.2	7.2±0.2
배양시간	72±2시간	48±2시간
시료량	1mL	
희석배수	원수, 10배, 10 <sup>2</sup> 배, 10 <sup>3</sup> 배, 10 <sup>4</sup> 배	

기준에 설치되어 사용되고 있는 정수기와 살균장치가 설치되어 있는 정수기를 대상으로 저온성·중온성 일반세균 실험을 시행하였다. 시료는 무균적으로 채취하였으며 채취한 후 20분 안에 실험하였다. 기존 설치 정수기는 냉수꼭지에서 시료를 채취하였으며, 살균정수기는 정수(상온의 물)를 채취하였다.

UV살균공정과 UV/TiO<sub>2</sub> 살균공정의 비교는 35℃의 Incubator에서 보관해놓은 일반세균을 채취하여 저장조에 있는 멸균된 증류수에 넣은 후 반응조에 서로 다른 조건인 꼭지5개로 시료를 받아 단계 희석하여 저온성·중온성 일반세균실험 방법에 따라 배양하여 생성되는 colony수를 센 후 희석배율을 곱하여 일반세균수를 산출하였으며, 결과는 반복 실험된 평균값으로 계산하였다.

3. 실험결과

3.1 기존정수기의 저온일반세균

저온일반세균은 기존 설치 정수기에서 시료를 채취 하여 측정하였다.

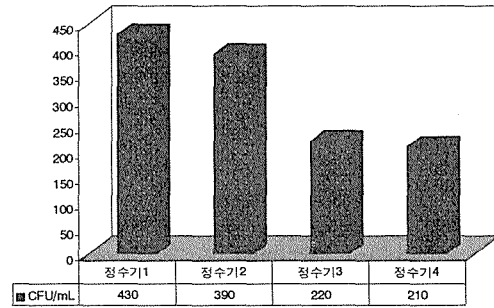


Fig. 2 기존정수기의 저온일반세균

Fig. 2에서 볼 수 있듯이 저온일반세균은 먹는물 수질기준(100CFU/mL)이상을 초과하는 결과가 나타남을 볼 수 있다.

3.2 기존정수기의 중온일반세균

기준에 설치된 정수기에서는 중온일반세균도 저온일반세균 실험결과와 같이 먹는물 수질기준(100CFU/mL)을 초과하는 것을 알 수 있었다.

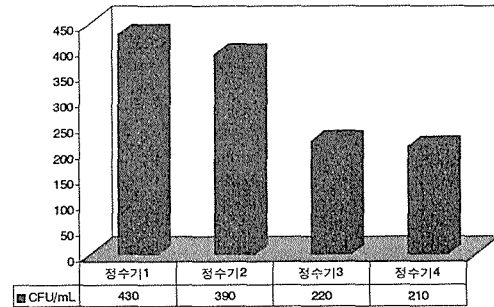


Fig. 3 기존 정수기의 중온일반세균

또한, 살균장치가 설치된 정수기는 저장조와 처리수를 비교하였을 때 상당한 효율을 보이고 있다.

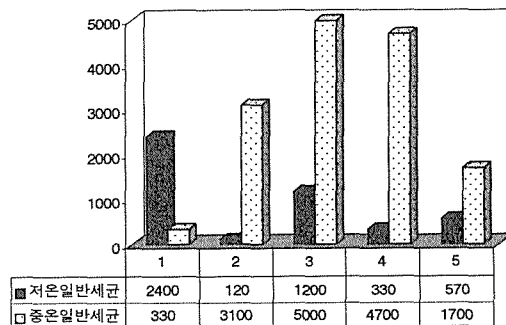


Fig. 4 살균 정수기 저장조의 일반세균

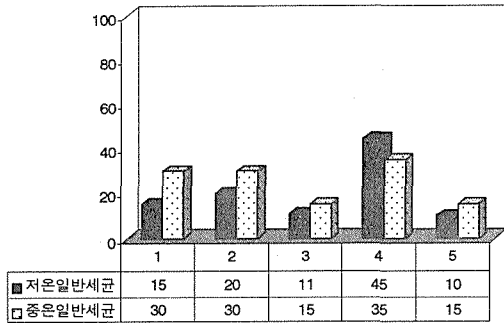


Fig. 5 살균 정수기 처리수의 일반세균

제작한 반응조에서의 살균효과를 알아보기 위해서 UV Lamp의 강도를 달리하고, TiO<sub>2</sub> 광촉매를 코팅 전·후의 살균효과로 UV공정과 UV/TiO<sub>2</sub>공정의 효율을 비교해 보았다.

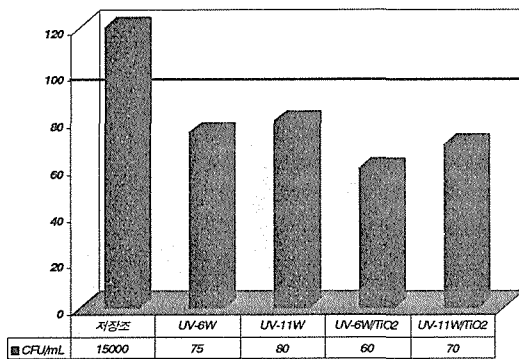


Fig. 6 반응조 각 조건에 따른 처리 결과

Fig. 6에서 볼 수 있듯이 UV 강도가 증가할수록 살균력은 증가하였고, 광촉매인 TiO<sub>2</sub>를 코팅하여 UV 살균 처리한 것이 TiO<sub>2</sub>를 코팅 하지 않은 것보다 살균력이 높음을 알 수 있다.

#### 4. 결론

대기와 물, 토양뿐만 아니라 어디에나 존재하는 세균을 완전히 멸균한다는 것은 있을 수 없는 일이다. 우리가 먹는 물에서도 마찬가지 일 것이다. 하지만 살균장치를 이용하여 얻을 수 있는 결과는 멸균이 아니라 질병을 일으키고 생활에 불편을 초래하는 세균의 살균이다. 그리고 그런 세균의 오염을 예방하는 것이다.

기존정수기에서는 중온성 일반세균과 저온성 일반세균을 실험한 결과, 먹는 물 수질기준치 이상을 초과하는 결과가 나타남을 볼 수 있었다.

살균정수기에서의 실험결과 저장조에서 일반세균의 검출이 높은 반면에 처리 수에서는 먹는물 수질기준을 만족하는 결과를 얻을 수 있었다. 자체로 제작한 반응조에서 UV/TiO<sub>2</sub> 공정과 UV 공정을 살균력을 비교한 결과 UV/TiO<sub>2</sub> 공정이 근소하지만 보다 좋은 처리 효율을 보였다.

#### 참 고 문 헌

- [1] 환경부, 세계 물의 해 자료집, 2003
- [2] 염철민, 김도경. 정광열, 유양수, 조창현, "국의 먹는 물 자외선 소독 법규", 상하수도 학회지. 기술정보 17권 6호. pp 741-747. 2003
- [3] 이인화, 박중순, 김시옥, 차진명, 최경주 이범규, "자외선-광촉매효과를 이용한 대장균, 곰팡이 및 병충해 유발균의 살균", 대한환경공학회지, 23, pp 473-483, 2001
- [4] Dulbecco, R. "Experiments on photoreactivation of bacteriophages inactivated with ultraviolet radiation. J. of bacteriol", 59, pp329-347, 1950
- [5] Markku J. Ilkka T. Miettine, Terttu Vartiainen, Panu Rantakokko, Arja Hirvonen, Pertti J. Martikainen, "Impact of UV disinfection on microbially available phosphorus, organic carbon, and microbial growth in drinking water", Water Research, 37, pp 1064-1070, 2003