

비접촉식 자외선램프를 이용한 살균/정화 수도꼭지

A Water Tap Equipped with a Sterilization/Purification System of Non-contact UV-lamp

민 경 원* 원 중 현** 이 현 철*** 한 동 열****
Min, Kyoung-Won Won, Jong-Heon Lee, Hyun-Cheol Han, Dong-Youl

Abstract

Ultraviolet light(UV-C, wavelength: 200~280nm) is employed profitably for sterilizing drinking water. For most water serving apparatus such as a water purifier, a water cooler and heater, a coffee vending machine and etc., pre-sterilized water may be contaminated secondarily with bacillary inhabitation in a container before serving. In consideration of this problem, a household water tap which is equipped with a sterilization/purification device in combination with non-contact UV-lamp, was designed to sterilize and purify water at the last outlet just before serving. Hopefully this simple but creative item may be commercialized for household and public use.

키워드 : 자외선램프, 살균/정화, 수도꼭지

Keywords : ultraviolet light lamp, sterilization/purification, water tap

1. 서론

가정에서 깨끗한 식수를 공급받기 위하여 종래에 필터 또는 멤브레인 등을 이용한 정수기를 사용하여 왔으며, 식수의 살균을 위하여 자외선의 살균 및 정화를 이용한 살균/정화장치를 개발하여 왔다[1][2]. 장치에서 미리 살균/정수한 물은 저장고에 저장하여 사용하는 경우, 저장고에서 세균 서식과 같은 2차적인 오염이 발생할 우려가 있다. 이러한 문제점을 고려하여 일반 수도관이나 음용수

기기(정수기, 냉온수기, 음료자동판매기, 샷기 등)의 최종 출수구에 직접 자외선 살균/정화장치를 직접 결합시킴으로써[3][4], 좀 더 편리하게 사용할 수 있는 자외선 살균/정화장치를 고안하고 성능을 개선하고자 하였다. 이 연구에서는 일반 가정의 수도꼭지에 결합하여 사용할 수 있는 자외선 살균/정화장치를 연구 개발하였다.

2. 자외선 살균/정화처리

2.1. 자외선의 특성

자외선(ultra violet, UV)은 태양으로부터 지구에 도달하는 빛의 일부분으로서 가시광선 보다는 짧은 파장을 갖고 있으며, X-선보다는 긴 파장을 가지고 있다. 자외선은 파장에 따라 UVA, UVB, UVC, 진공 자외선(vacuum UV)으로 구분되는데, 이는 각 파장의 영역별 특성이 매우 다르기 때문이다(그림 1).

* 강원대학교 지구·환경공학부 교수, 공학박사

** 아이닉스

*** 강원대학교 대학원 지구시스템공학과 석사과정

**** (주) 시엠씨

본 논문은 「교육인적자원부의 지방대학 혁신역량 강화사업」(NURI)의 지원으로 수행된 연구결과물입니다.

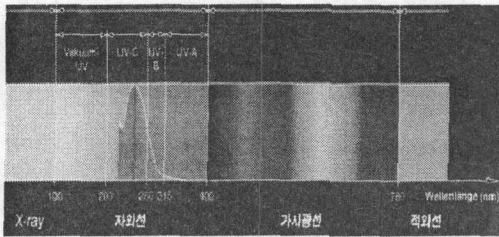


그림 1. 빛의 파장에 따른 UV의 분류

파장별 자외선의 특성은 다음과 같다.

가. UVA(320~400nm)

Black light라고도 하며 실내에서 suntanning을 하거나 푸른 조명을 할 때 사용된다. 또한 TiO2 등의 광촉매가 활성화될 수 있는 에너지원으로 사용할 수 있는 에너지원으로 사용할 수 있어 최근에는 광촉매를 이용한 수처리, 대기처리에 사용되고 있다.

나. UVB(280~320nm)

Dorno선이라 부르며 비타민 D를 형성하거나 피부에 홍반작용을 일으킨다.

다. UVC(200~280nm)

살균(Germicidal)선이라 하며 DNA, 단백질 및 오존이 흡수하는 파장으로 오존을 잘 분해하기 때문에 최근에는 UV/Ozone AOP 공정에 응용되거나 오존 파괴용 및 소독용으로 사용되고 있다.

라. Vacuum UV(100~200nm)

진공자외선이라 하는데 이는 파장이 너무 짧아 흡수성이 높고 투과력이 매우 낮다. 특히 185nm의 파장은 산소를 오존으로 변화시키는 성질이 있어 저농도의 오존을 발생시킬 때 사용되며 반도체 산업에서는 초순수 공정에서 미량의 유기물질을 제거하는데 응용되기도 한다.

2.2. 자외선의 살균작용

UVC가 살균자외선으로 특징되어지는 것은 그림 2에서와 같이 세포내에 존재하는 DNA가 UVC를 잘 흡수하기 때문이며 그 중에서도 253.7nm (2537)의 파장이 DNA에 가장 잘 흡수되기 때문에 자외선살균램프는 253.7nm의 파장을 가장 효과적으로 방사할 수 있도록 설계되어 있다[5][6]. 자외선이 DNA에 조사되면 DNA의 염기 중 티민의 분자구조가 집중적으로 파괴되며, 자외선을 흡수한 티민은 이웃한 티민이나 시토신과 눌러 붙게 된다. 이와 같이 티민이 중합되면 DNA의 복제가 제대로 이루어질 수 없기 때문에 생명체로서의 기능이 정지되는 것이다. 자외선을 조사하여 증식력을 잃은 세균에 310~400nm의 가시광선을 조사하면 세포내의 광회복 효소가 활성화되어 일부 세포가 다시

활성화되는 현상을 광회복(photoreactivation)이라 한다.

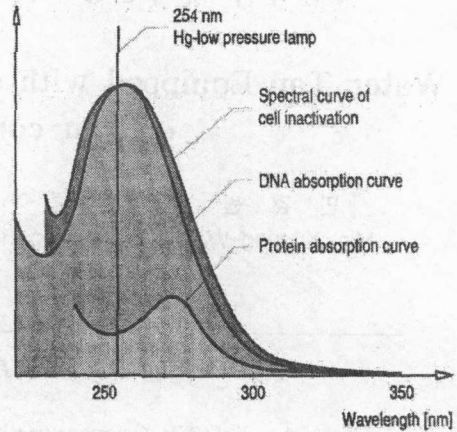


그림 2. 살균에 영향을 미치는 자외선의 범위

2.3. 자외선 살균의 특징

자외선 살균방법의 특징은 일반적으로 다음과 같이 요약할 수 있다.

가. 균종에 따라 저항력의 차이가 있으나 모든 균에 유효하여 사용이 간단하다.

나. 피 조사물에 변화를 거의 주지 않고 잔류효과가 거의 없다.

다. 투과율이 문제이므로 물, 공기 등이 가장 유효한 대상이다.

라. 살균선(253.7nm)의 투과율이 낮아 표면만 살균된다.

3. 비접촉식 자외선 살균/정화 장치

3.1. 방식 및 기본 구조

개발된 자외선 살균/정화장치는 자외선 램프(출력 7W, G7T5; 그림 3-⑭)를 둘러싼 내부 석영관(∅20.5×168L, 그림 3-⑬)과 외부 석영관(∅26×146L, 그림 3-⑫)을 기본 구조로 한다(그림 3). 입구(그림 3-⑦)로 유입된 물은 테프론 재질의 몸체(그림 3-②)와 외부 석영관 사이를 따라 올라가게 되고, 다시 외부 석영관과 내부 석영관 사이를 흘러 내리는 구조이며, 이 때 자외선 램프에서 조사되는 자외선에 의하여 살균/정화된 물이 출구(그림 3-④)로 배출되도록 고안되었다. 이러한 방식은 물에 자외선이 비접촉식으로 조사되며 위로 흐르는 과정과 아래로 흐르는 과정에서 살균되어 효율적으로 살균할 수 있는 장점을 지닌다.

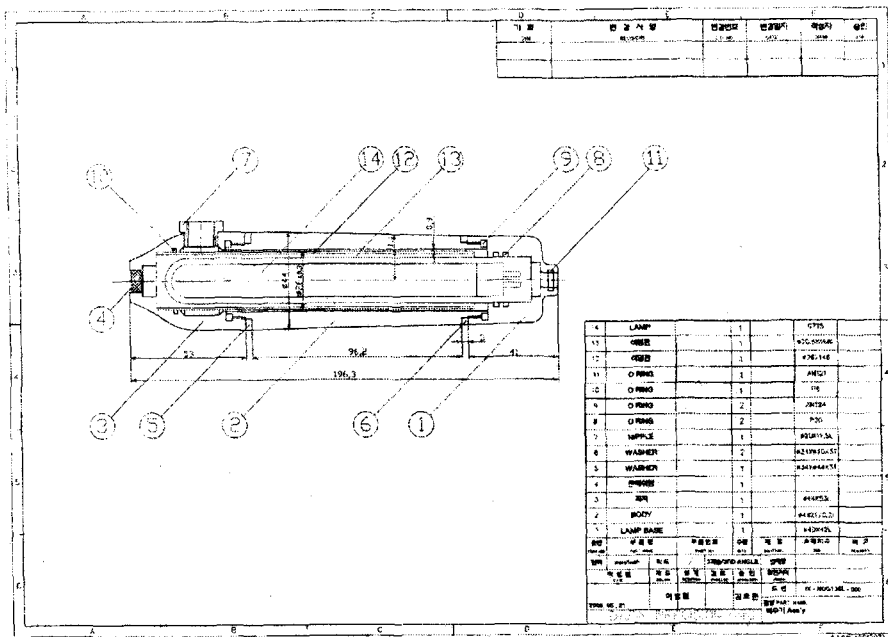


그림 3. 살균/정화 꼭지 구조도

3.2. 자외선 살균/정화 장치의 살균 실험

개발된 자외선 살균/정화 장치의 살균/정화 성능을 검토하기 위하여 한국화학시험연구원에 의뢰하여 살균 효능을 검토하였다. 시험균주 *Escherichia coli* (ATCC 25922) 및 *Staphylococcus aureus* (ATCC 25923)를 액체배지(Brain Herat Infusion Broth)에 진탕 배양시킨 후, 정수용 탱크에 배양액을 접종하여 자외선 살균/정화 장치를 통과 전 세균 수를 측정하고, 1.2ℓ/min의 유속으로 시료를 통과시킨 후 세균 수를 측정하여 감소율을 측정하였다. 시험결과 대장균(*Escherichia coli*)은 통과 전 8.6×10^4 CFU/ml에서 통과 후 검출되지 않았고, 포도상 구균(*Staphylococcus aureus*)은 통과 전 4.8×10^4 CFU/ml에서 통과 후 검출되지 않았다(표 1, 그림 4 및 그림 5).



그림 4. *Escherichia coli* 균주에 대한 살균시험 결과(좌: 통과 전, 우: 통과 후)

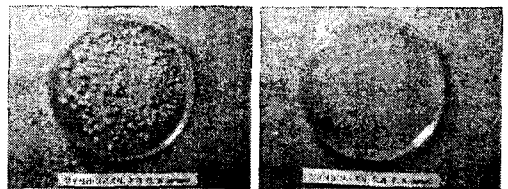


그림 5. *Staphylococcus aureus* 에 대한 살균시험 결과(좌: 통과 전, 우: 통과 후)

표 1. 자외선 살균/정화 장치의 살균시험

시험균주	통과 전	통과 후	감소율
<i>Escherichia coli</i>	8.6×10^4 CFU/ml	검출안됨	100%
<i>Staphylococcus aureus</i>	4.8×10^4 CFU/ml	검출안됨	100%

3.3. 수도 꼭지용 정수기

시험 설계된 그림 3의 자외선 살균/정화 장치를 기본으로 실제 가정에서 사용할 수 있도록 수도꼭지용 정수기를 설계하였다(그림 6). 정수기의 구성은 자외선 살균기 부분과 필터(그림 7) 부분으로 구성되었다(그림 8).

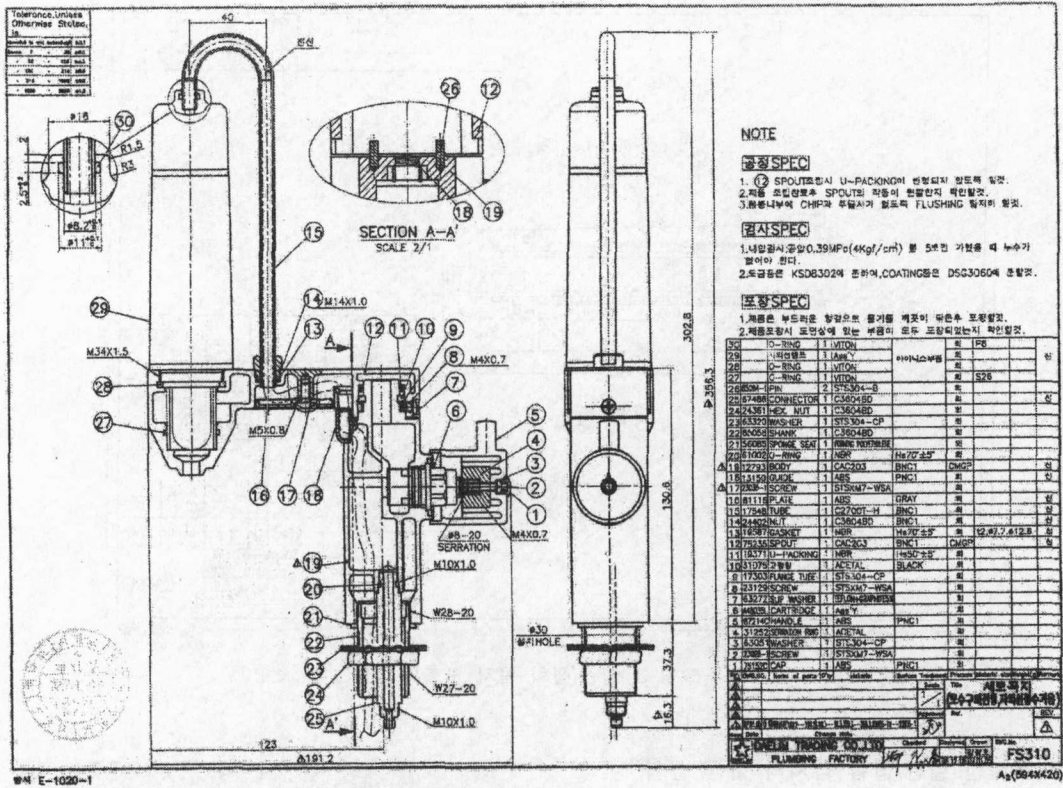


그림 6. 수도꼭지용 정수기 설계도

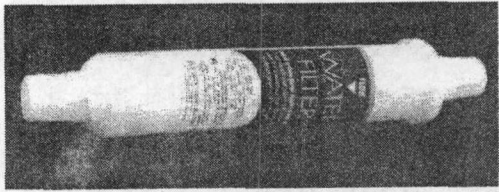


그림 7. 정수용 필터

수도로 공급되는 물은 세라믹과 활성탄으로 이루어진 필터에서 세균, 부유물질, 각종 침전물 등이 여과되고 염소, 불쾌한 맛과 냄새가 제거된 후 2단계의 자외선 살균/정화 장치에서 출수구 순환 공법으로 세균을 완전히 살균시키는 과정에 따라 출수구인 수도 꼭지에서 살균/정화된다. 장착된 필터는 반석기업에서 생산하는 정수기 필터 모델 DD-7098로서, 단면을 잘랐을 때 입수 쪽을 기준으로 폴리프로필렌 재질의 OR-125 3장, ACF(섬유상 활성탄) 3장, 은점착 활성탄 100g 이상, 코럴샌드(coral sand) 10g 이상, ACF 3장, OR-125 3장의 순서로 조성되었다. 필터는 유효정수량 2,000ℓ, 최대작동압력 125psig, 유속 1.3ℓ/min, 작동온도범위

0.6~38℃의 사양을 갖는다. 자외선 정수기의 유효 정수량이 3,600ℓ 이어서 일반적으로 교체주기는 1년으로 추정되며, 필터의 교체주기는 6개월로 예상된다.

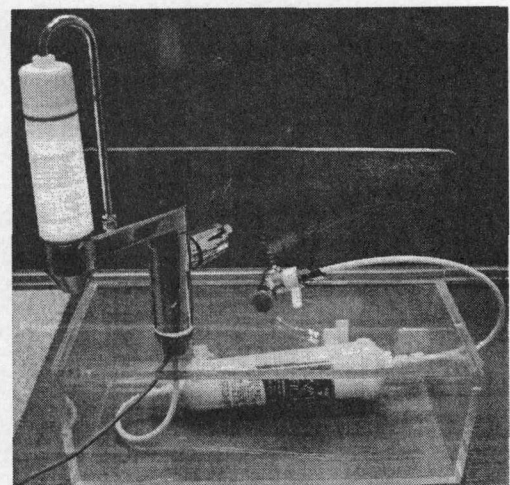


그림 8. 수도꼭지용 살균/정화 장치

4. 결론

수도꼭지용 정수기는 필터를 이용한 정수 방식과 자외선에 의한 살균 방식을 결합한 정수기로 1단계 복합필터에 의하여 부유물질, 각종 침전물 등의 제거와 염소 및 불쾌한 맛과 냄새를 제거한 후 2단계로 자외선 살균꼭지에 의하여 필터를 통과시켜 정수한 이후의 세균 오염과 필터를 통과하는 세균을 최종 출수구에서 살균할 수 있도록 설계되어 살균/정수의 효율을 향상시켰다. 정수기를 수도 꼭지에 간단하게 부착하여 사용할 수 있으며 필터와 살균램프는 쉽게 교체할 수 있도록 설계되어 가정 및 공공장소에서의 수요가 클 것으로 기대한다.

참 고 문 헌

- [1] 이경혁, 이성철, “자외선을 이용한 소독 및 유기물 제거기술”, *첨단환경기술*, 제10권, 제1호, pp. 1-10, 2002
- [2] 박종안 등, *새로운 환경보건학*, 동화기술, 334p., 2007
- [3] 김경목, 김태형, 2004, 단파살균램프가 이용한 정수기, 대한민국 특허 등록번호 10-0465119-0000(2004.12.27)
- [4] 김경목, 김태형, 2005, 단파살균램프가 장착된 생수기, 대한민국 특허 등록번호 10-0479423-0000(2005.03.18)
- [5] USPEA, *Ultraviolet Disinfection Guidance Manual*, 2003.
- [6] 조 민, 김지민, 윤제용, “UV 조사(Ultraviolet Irradiation)에 의한 미생물의 불활성화”, *첨단환경기술*, 제12권, 제2호, pp.5-18, 2004