

용수 재이용을 위한 소규모 하수처리시설의 UV disinfection system

Feasibility Study of UV Disinfection system of Small Wastewater System for Water Reclamation

정 광 옥* · 윤 춘 경 · 함 종 화(건국대)
Joung, Kwang Wook · Yoon, Chun Gyeong · Ham, Jong Hwa

Abstract

Deterministic and probabilistic approaches to the design of ultraviolet (UV) disinfection system for water reclamation are reviewed and discussed.

The high inactivation of TC, FC and E. coli by UV disinfection was demonstrated and the inactivations of TC, FC and E. coli were 97%, 98% and 99%, respectively. Within the range of 0.3-4.5mWs/cm, the effect of UV does on the inactivation ratio was not observed. However, in the highest wattage of UV lamp, 39W, the inactivation ratio of TC, FC and E. coli was 100%, regardless of the UV does so the UV density was more effective on inactivation ratio of TC, FC and E. coli rather than UV does. Under the 0.4 mWs/cm and 16W of UV lamp, the effect of dissolved organic matter and turbidity on the inactivations of TC, FC and E. coli could not be observed in this study within the range of 0-60mg/L and 0-40 NTU respectively.

Keywords

Ultraviolet (UV) disinfection, total coliform, fecal coliform, escherichia coli

I. 서 론

물은 공기와 함께 모든 생명체의 생존에 없어서는 안되며, 우리 인류에게는 필요한 만큼의 수자원을 확보하고 깨끗하게 보존해야 할 책임이 있는 귀중한 자원이다.

산업발달에 의한 산업시설의 증가와 인구증가에 따른 도시팽창, 그리고 소득증가로 인한 생활수준 향상으로 물부족을 초래하였으며 수질오염물질의 증가로 인해 수질관리에 어려움을 가중시키고 있다. 현재 세계적으로 물 문제는 가장 중요한 과제로 부각되고 있으며, UN에 의해 물부족 국가로 지정된 우리 나라에서는 중요한 문제로 인식하여 물문제 해결을 위한 많은 노력이 진행되고 있다.

이처럼 지구 전체에 걸쳐서 많은 지역들이 사용 가능한 수자원이 한계에 도달하면서, 용수재이용이 수자원 보전 및 효율증대라는 측면에서 크게 관심을 끄는 대안이 되었다. 용수재이용은 수자원의 양적인 측면뿐만 아니라, 수계에 방류되었을 때 발생할 수 있는 수질문제를 저감시킬 수 있다.

재이용수의 조건은 수요자가 사용할 때 무색·무취여야하고 보건상 위험성을 줄이는 것이 중요하다. 따라서, 세균성 미생학물의 특징과 종류, 질병 전염 기작을 이해하고 그 처리수준을 결정한 후 적절한 소독방법을 선택하는 것이 무엇보다 중요하다고 할 수 있다. Total coliform, fecal coliform, escherichia coli는 미생학적 측면에서 수질오염의 평가기준이 되는 지표생물로서 미생물에 의한 오염으로부터 안정성의 평가 및 모니터를 위해 일반적으로 사용되고 있다.

소독제로는 염소가 가장 널리 사용되고 있지만, THM등과 같은 유해물질이 발생되고, 관리가 부족하면 수생 생물 및 수질 환경에 악영향을 미칠 수 있다는 단점이 있다. 따라서, 최근 UV를 이용한 소독기술이 수처리에 있어서 염소소독법을 대체하거나 보완할 수 있는 중요한 기술적인 대안으로 주목을 받고 있으나, 실제 UV의 특성의 이해 및 UV에 대한 인식부족으로 효율적 이용이 절실히 요구되고 있는 실정이다. 본 연구는 UV소독하기 위한 기초자료를 얻기 위해 램프별·처리용량별 UV dose, 용존성 유기물질, 탁도등 물리적인 인자에 의한 영향을 평가하였다.

II. 재료 및 방법

UV disinfection system은 경기도 양평군 소재 연립주택의 하수를 처리하는 호기성 biofilter의 방류수를 이용했다. biofilter 처리용량은 $8 \text{ m}^3/\text{day}$ 이고 연평균 BOD₅, TSS, Turbidity, T-N, T-P, total coliform, fecal coliform, escherichia coli는 10.94mg/L, 4.4mg/L, 3.54NTU, 5.05mg/L, 45.80mg/L, 15,000MPN/100mL, 11,857MPN/100mL, 7,771MPN/100mL이다. UV disinfection system의 외관은 stainless steel로 만들어졌으며, 내경이 96mm, 길이 860mm이고 램프를 감싸고 있는 외경24.5mm, 길이 860mm의 석영관으로 구성되어 있다. 석영관 안에 UV램프를 배치하는 형식으로 되어 있고, 유입유량 조절이 가능한 밸브를 설치하였다. 석영관에 물 scale이 생기는 것을 방지하기 위하여 석영관 세척장치를 설계하였다. UV disinfection system은 Fig 1.에서 보는 것과 같다.

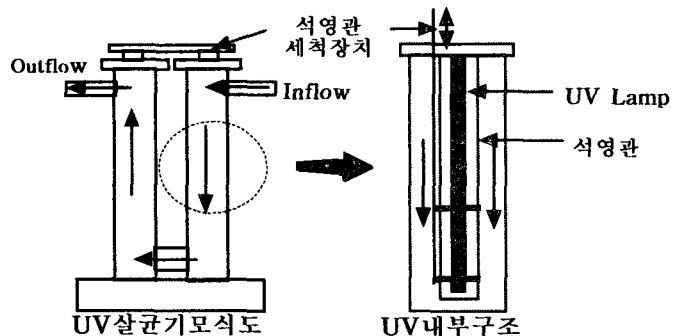
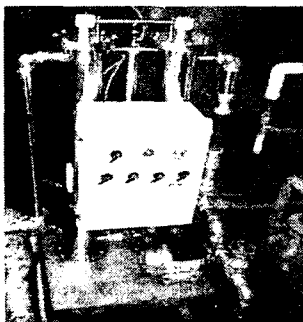


Fig 1. UV disinfection system

1. 램프별·처리용량별 UV disinfection

UV disinfection system의 적정 처리 용량을 산정하기 위해 Table 1.과 같이 램프마다 처리용량을 변화시켜 total coliform, fecal coliform, escherichia coli의 소독능을 측정하였다. UV소독의 소독능을 표현하는 방식은 자외선 조사량(dose)으로 $\text{miliwatt-second}/\text{cm}^2$ ($\text{mW}/\text{cm}^2 \cdot \text{sec}$)로 나타내며, 이는 자외선 강도($\text{ultraviolet output}(\text{mW}/\text{cm}^2)$)에 UV처리조내의 체류시간(sec)을 곱한다.

2002년도 한국농공학회 학술발표회 논문집 (2002년 10월 12일)

Table 1. Ultraviolet dose of Ramp type and Flow late

Ramp	Flow late(m ³ /day)				
	10	20	30	40	
39W	UV dose	4.56	2.28	1.51	1.14
	Retention time	(38.0)	(19.0)	(12.6)	(9.6)
21W	UV dose	2.09	1.04	0.691	0.52
	Retention time	(29.0)	(14.5)	(9.6)	(7.3)
16W	UV dose	1.19	0.59	0.40	0.29
	Retention time	(20.8)	(10.4)	(7.0)	(5.0)

Table 2. The effect of ramp and flow late on the UV disinfection.

	Flow late (m ³ /day)	Survival ratio(%)		
		39W	21W	16W
Total coliform	10 m ³ /day	0.00	0.28	2.09
	20 m ³ /day	0.00	0.73	0.38
	30 m ³ /day	0.00	1.46	0.29
	40 m ³ /day	0.00	1.97	0.60
Fecal coliform	10 m ³ /day	0.00	0.40	1.35
	20 m ³ /day	0.00	0.89	0.32
	30 m ³ /day	0.00	0.48	0.81
	40 m ³ /day	0.00	0.52	0.68
Escherichia coli	10 m ³ /day	0.00	0.69	0.69
	20 m ³ /day	0.00	0.29	0.20
	30 m ³ /day	0.00	0.39	0.39
	40 m ³ /day	0.00	0.35	0.57

2. 탁도에 의한 영향

탁도에 대한 영향은 표준탁도유발물질인 카오린 분말을 biofilter처리수에 혼합하여 일반적인 하수의 탁도 범위인 0-40NTU로 조제하여 G10T5L(16W)램프를 사용하여 유량 30m³/day로 측정하였다.

3. 용존성 유기물질에 의한 영향

용존성 유기물질의 영향을 알아보기 위해서, biofilter유입원수를 GF/B(Whatman)로 필터한 후 biofilter유출수에 혼합하여 측정하였다. 용존성 유기물질을 측정하기 위한 수질항목으로 BOD₅를 사용하여 일반적인 하수 처리수 BOD₅ 범위인 5-60 mg/L로 조제하였다. G10T5L(16W)램프를 사용하여 유량 30 m³/day로 측정하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 램프별 · 처리용량별 UV disinfection.

UV램프 39W, 21W, 16W에 유량을 10 m³/day, 20 m³/day, 30 m³/day, 40 m³/day로 변화시키면서 total coliform, fecal coilform, escherichia coli의 소독정도를 조사하였으며, 결과가 Table 2에 정리되어 있다. 39W램프에서는 유량을 변화시켜도 100%소독이 이루어졌으며, 25W와 16W램프의 경우에도 유량변화에 따라서 모두 97%이상의 매우 효과적인 소독이 이루어지는 것으로 나타났다.

대응표본 T검정을 통해 통계분석 해본 결과 95%신뢰구간 내에서 total coliform과 fecal coliform, fecal coliform과 escherichia coli, total coliform과 escherichia coli의 유의확률 0.252, 0.072, 0.085로 대장균 종류간의 UV소독에 의한 생존률 차이는 보이지 않았다.

다른 국내외 연구결과를 살펴보면 Snider et al. (1991)은 UV조사량 60 mW/cm² · sec 또는 이상인 경우에 2차처리방류수 소독에서 total coliform이 23/100mL 수준이었으며, 여과한 2차처리방류수 소독에서 UV조사량이 97 mW/cm² · sec인 경우에 total coliform이 2.2/100mL 이하이었다. Ron et. al(1998)은 SS 10mg/L에서 100 mW/cm² · sec 일 때 4-log의 total coliform이 제거되었고, 이경혁 등 (2002)은 fecal coliform이 30~35 mW/cm² · sec에서 3-log가 제거되었다. 본 연구의 실험에서 다른 문헌상 연구결과보다 조사량(dose)이 적은 상태에서도 살균효과가 크게 나타났다.

2. 탁도에 의한 영향

탁도를 0-40NTU까지 변화시켜서 실험해본 결과 Table 3과 같이 탁도에 의한 영향을 크지 않은 것으로 나타났다. 탁도의 변화에도 97%이상이 소멸하였다. 대응표본 T검정을 통해 통계분석 해본 결과 95%신뢰구간 내에서 total coliform과 fecal coliform, fecal coliform과 escherichia coli, total coliform과 escherichia coli의 유의확률 0.891 0.635, 0.795로 대장균 종류간의 UV소독에 의한 생존률 차이는 보이지 않았다.

Table 3. The effect of Turbidity on the UV disinfection.

Turbidity (NTU)	Survival ratio(%)		
	Total coliform	Fecal coliform	Escherichia coli
0-10	0.42	0.93	1.11
10-20	2.08	1.08	1.22
20-30	0.36	0.72	0.54
30-40	0.32	0.66	0.69

Table 4. The effect of dissolved organic matter on the UV disinfection.

BOD ₅ (mg/L)	Survival ratio(%)		
	Total coliform	Fecal coliform	Escherichia coli
0-5	0.16	0.20	0.16
5-10	0.07	0.43	0.59
10-20	0.03	0.04	0.11
20-60	0.03	0.12	0.02

3. 용존성 유기물질에 의한 영향

Table 4와 같이 용존성 유기물질에 의한 영향을 알아보기 위해 BOD₅를 0-60mg/L로 변화시키면서 UV소독에 대한 생존률의 변화를 살펴본 결과 용존성 유기물질에 의한 영향은 크지 않은 것으로 나타났다. 대응표본 T검정을 통해 통계분석 해본 결과 95%신뢰구간 내에서 total coliform과 fecal coliform, fecal coliform과 escherichia coli, total coliform과 escherichia coli의 유의확률 0.216, 0.767, 0.323로 대장균 종류간의 UV소독에 의한 생존률 차이는 보이지 않았다.

IV. 요약 및 결론

1. 소규모 오폐수 처리용으로 제작된 본 UV disinfection system의 경우 기존 연구보다 적은 조사량으로 큰 소독효과를 보이는 것으로 나타났으며, 이유는 소독방식이 유수식으로서 원통형의 처리실 중앙에 UV램프가 위치하여 하수와의 거리가 불과 4cm 이하로 매우 짧아서 소독이 효과적으로 이루어졌을 것으로 추정된다. 또한 일반 하수종말처리장에 비하여 시료로 사용된 biofilter의 처리수에 SS가 상대적으로 낮았던 이유도 높은 처리효율에 기여했을 것으로 판단된다.
2. UV유입수의 물리적인 특성중 UV소독능에 영향을 준다고 알려진 탁도, 용존성 유기물질에 의한 영향은 적은 것으로 나타났다. 따라서, 본 UV disinfection system에서는 UV유입수의 물리적 특성이 변화여도 추가적인 처리 없이 사용할 수 있을 것으로 판단되며 2차 처리 수준의 하수처리수에 UV disinfection system을 적용시 95%이상의 효율을 얻을 수 있을 것이라 판단된다.
3. Total coliform, fecal coliform, escherichia coli의 대장균 종류간의 UV소독능에 대한 차이는 없는 것으로 나타났다. 이는 UV소독이 미생물 소독에 종에 관계없이 적용할 수 있다고 판단된다.

사사

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호: 예 4-5-1)에 의해 수행되었습니다.

V. 참고문헌

1. George, I., P. Crop and P. Servais, 2002, Fecal coliform removal in wastewater treatment plants studied by plate counts and enzymatic methods, Water Research, 36; 2607-2617.
2. Sommer, R., A. Cabaj, W. Pribil and T. Haider, 1997, Influence of lamp intensity and water transmittance on the UV disinfection of water, Water Science and Technology, 35;113-118.

2002년도 한국농공학회 학술발표회 논문집 (2002년 10월 12일)