

입자성 물질 농도가 바이러스의 UV-처리와 위해성에 미치는 영향 평가

신유리 · 윤춘경[†] · 이한필 · 이승재

건국대학교 환경과학과

Effect of Particulate Matter on the UV-Disinfection of Virus and Risk Assessment

Yu-Ri Shin · Chun-Gyeong Yoon[†] · Han-Pil Rhee · Seung-Jae Lee

Department of Environmental Science, Konkuk University

(Received 14 September 2010, Revised 28 October 2010, Accepted 3 November 2010)

Abstract

Wastewater reuse for agricultural irrigation needs treatment and control of pathogens to minimize risks to human health and the environment. In order to evaluate the water quality of UV-treated reclaimed water, this study focused on the relationship between micro-pathogens and particulate matters. MS2 was selected as an index organism because it has similar characteristics to human enteric virus and strong resistance to UV disinfection. The turbidity and suspended solid (SS) were selected for test parameters. In this study, it was performed with different UV doses (30 and 60 mJ/cm²) for estimation of the MS2 inactivation rate using collimated beam batch experiments in the laboratory. The experiment results by turbidity or SS concentration presented that the increased concentration of them lowered MS2 inactivation. At the turbidity (below 4.27 NTU) and SS (below 1.47 mg/L) of the low level range, the inactivation of 60 UV dose is higher than 30 UV dose. However, at the turbidity and SS of the high level, the increasing UV dose did not show apparent increasing the MS2 inactivation. In quantitative microbial risk assessment (QMRA), it can confirm the trend that P_D and turbidity concentrations have positive relationship at the low concentration, which was also observed in SS. The QMRA can be helpful in communication with public for safe wastewater reuse and be recommended.

keywords : MS2, Particulate matter, Suspended solid, Turbidity, Ultraviolet inactivation

1. 서론

인구 증가 및 급속한 도시화로 인하여 수자원의 수요는 생활용수, 공업용수, 농업용수 등 다방면에서 증가하고 있는 추세이다. 도시화가 이루어진 지역에서는 이미 이용 가능한 수자원을 대부분 개발하였으며, 부족한 수자원을 보충하기 위하여 새로운 공급원을 다른 지역으로부터 끌어들이는 방법까지 사용하고 있다. 하지만 이 방법은 개발 및 유지비용이 많이 든다는 단점을 갖는다. 이에 더하여, 농촌과 도시에서 발생하는 하수는 근처의 수로에 방류하게 되는데, 수질오염 방지와 공공보건을 고려하여 사전에 적절한 처리가 필요하다. 하수처리장 방류수의 농업적 재이용은 증가하는 인구와 도시화에 대한 측면뿐만 아니라 경제적인 부분과 환경적인 측면에서까지도 장점을 가진 대안이 될 수 있다. 즉, 하수처리장 방류수에 포함되어있는 유기 비료 물질은 농업에 이용될 수 있어 경제적으로 비료의 절약 효과뿐만 아니라 환경 개선 효과도 함께 얻을 수 있다(박승우, 2004; 조창익, 2009; US EPA, 1992).

한편, 전 세계적으로 진행되고 있는 기후변화는 지구 전

반적인 수자원 시스템에 영향을 끼치고 있으며, 국내의 경우도 기후변화로 인하여 홍수 및 가뭄 등이 증가되고 있다. 한편, 국내 수자원은 강수량의 계절적 변동이 크고, 여름에 집중되며, 하천 유로 연장이 비교적 짧아 수자원 관리 및 이용에 어려움을 갖는다. 국내에서 농업에 이용되는 물의 양은 전체 수자원의 48% 정도로서, 생활용수 및 공업용수보다 많은 양을 필요로 하는 실정이다. 따라서 국내 강수량의 계절적 변동이 크다는 특성과 함께 변화하는 기후변화에 대응할 수 있도록 농업용수의 안정적인 공급원이 될 수 있는 대체 수자원이 필요하다. 이와 같은 물 부족 문제를 해결하기 위한 대체수자원으로서 하수처리수 재이용이 제시되고 있다. 하수처리장 방류수의 재이용의 경우, 하수처리장에서 방류되는 물의 양은 연중 고르기 때문에 가뭄이 심할 경우에도 안정적인 수량의 유지가 가능하다는 장점을 갖는다. 처리기술의 향상으로 처리수의 수질도 향상되고 있어 안정적인 대체 수자원으로서 부각되고 있다. 방류수의 재이용 용도로써 농업용수, 산업용수, 하천유지용수, 공업용수 등으로 이용되고 있다(김영란, 1999; 박승우, 2004; 허형우, 2007).

세계 각국에서 생활하수를 농업용수로서 이용하고 있지만, 국내에서는 하수처리수의 농업적 재이용이 부분적으로 이루어지고 있는 실정이다. 또한, 하수처리수 방류수를 농

[†] To whom correspondence should be addressed.

chunyeon@konkuk.ac.kr

업용수로 이용하기 위해서는 작업자와 소비자의 보건 위생, 토양과 수질환경 등의 문제들을 검토하고 재이용에 따른 충분한 기술을 갖추어야 한다. 하수의 농업적 재이용이 활발하게 이루어지는 국가에서는 이에 대한 중요성을 인식하고 이에 대한 수처리 기준 및 정책적인 관리가 기술 개발과 함께 이루어지고 있다. 국내의 경우 서구의 발농사 위주의 농업과 달리 논농사 위주의 농업이기 때문에 보다 엄격한 수질 기준과 처리 기술이 필요하다(이한필 등, 2009; 정광욱 등, 2005).

본 연구에서는 자외선 살균 처리법에 의하여 처리된 소독수를 논 관개용수로 이용하는 재이용수를 대상으로, 자외선 살균 처리법의 효율에 영향을 미치는 여러 변수 중 탁도와 부유물질을 실험 변수로 선정하였다. 또한, 인체 장내 바이러스와 비슷한 구조 및 기능을 가지며, 인체 잠재 발병 가능성이 낮은 MS2 bacteriophage를 지표 미생물로 적용하여 collimated beam batch test를 실시하였다. 그 결과로부터 미생물 위해성 평가 기법을 이용하여 하수의 농업적 재이용 시, 자외선 살균 처리에 앞서 입자성 물질의 처리 수준에 따른 인체 안전성 변화에 대하여 분석하였다.

2. 연구 방법

2.1. 실험 방법

본 연구에서 하수처리 방류수가 하천과 합류된 후, 이 하천수가 농업용수로 사용되는 경우를 재이용수라 정의하였으며, 이를 전제로 실험설계가 이루어졌다. 하천수와 하수처리 방류수가 합류된 후 여과과정, UV 처리과정, 저류, 관개가 이루어지는 시스템이다(Fig. 1). 이 시스템은 현재 대한민국에서 농업용수를 위한 재이용수 여과 시스템으로 연구 및 실용화가 이루어지고 있다.

재이용수의 농업적 이용에 따른 효율을 평가하기 위하여 미생물의 불활성화 실험에 널리 이용되는 collimated beam batch test를 수행하였다(Fig. 2). 자외선 투과율에 영향을

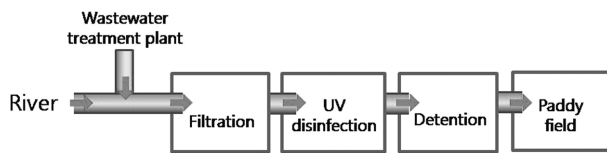


Fig. 1. Wastewater reuse system.

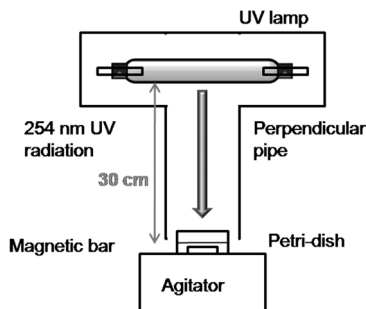


Fig. 2. Collimated Beam test.

미치는 탁도와 부유물질을 매개 변수로 설정하여 탁도 유발물질의 농도와 UV 강도의 변화에 따라 변화하는 미생물의 불활성화율의 변화에 초점을 두었다.

본 실험에서 식 (1)과 식 (2)를 이용하여 UV 강도 평균 및 조사량을 구하였다. bacteriophage가 담긴 페트리 디시 (Petri dish)에서부터 UV 램프까지의 거리를 30 cm로 설계하였으며, UV 조사량의 설정을 위하여 조사 시간을 조절하였다. UV 조사량은 30 mJ/cm²와 60 mJ/cm²이다. 30 mJ/cm²의 조사량은 현재 대한민국에서 농업용수를 위한 재이용수의 여과 시스템에서 UV 조사량으로 사용되고 있다.

$$I_{avg} = I_0 \times \frac{(1 - e^{-aL})}{aL} \tag{1}$$

- I_{avg} : The average intensity (mJ/cm²)
- I_0 : The measured intensity (mJ/cm²)
- a : Function of the absorbance (cm⁻¹)
- L : Solution depth (cm)

$$UVdose = I_{avg} \times t \tag{2}$$

- I_{avg} : The average intensity (mJ/cm²)
- t : Time (second)

미생물 불활성화율을 조사하기위한 대상 미생물로 지표 바이러스로 이용되는 MS2 bacteriophage(the American Type Culture Collection, ATCC 15597 B1)를 선정하였으며, double agar-layer procedure (DAL)를 이용하여 분석하였다. 숙주 박테리아로는 *Escherichia coli* (*E. coli* F_{amp})를 선택하였으며, 이는 ampicillin과 streptomycin에 내항생제성이 있어 환경시료 적용 시 잡균의 간섭을 배제할 수 있도록 하였다(US EPA, 2001). MS2는 인체 장내에 존재하는 미생물과 유사한 구조 및 크기를 가지며, UV 조사량에 대하여 다른 미생물보다 강한 내성을 가지고 있어 위해도를 비교적 보수적으로 평가할 수 있다는 장점을 갖는다(Lazarova and Savoye, 2004). 또한, 인체에 대하여 병원성 박테리아가 아니기 때문에 추가적인 안전성 검증 없이 실험이 가능하다(Lazarova and Savoye, 2004).

입자성물질의 농도를 조절하기 위하여 커피와 증류수를 혼합하였으며, 이를 고압 멸균하여 제조하였다(Lazarova and Savoye, 2004). 커피는 비교적 탁도의 조절이 쉽고 일정 탁도를 유지할 수 있을 뿐만 아니라 쉽게 구할 수 있다는 장점을 가진다. 커피를 이용하여 유발된 탁도 및 부유물질의 농도는 US EPA에서 제시하고 있는 Standard Methods에 따라 분석하였다(APHA, 2005a, 2005b; Lazarova and Savoye, 2004).

2.2. 미생물 위해성 평가

위해성 평가는 위험에 노출된 개인 또는 집단의 건강에 미치는 부정적인 영향의 양과 정도를 분석하는 것이다. 일반적으로 위해성 확인(Hazard identification), 용량-반응평가(Dose-response assessment), 노출평가(Exposure assessment),

위해도 결정(Risk characterization)의 네 단계로 구성된다. 미생물 위해성 평가도 일반적인 화학물질의 위해성 평가와 유사한 과정으로 진행된다(이건형, 2001; US EPA, 1989).

2.2.1. 용량-반응 평가

노출이 한번 일어났을 경우에 발생 가능한 질병 감염 가능성(P_I)을 기준으로, 감염의 위험이 존재하는 미생물을 포함한 물을 음용해야하며 음용한 양이 면역체계에서 살아남거나 증식할 수 있을 정도의 충분한 양이어야 한다. 감염이 이루어졌을 경우 개인에 따라 질병으로 발전 가능할 수 있으며, 그 가능성을 $P_{D:I}$ 로 표현한다(Haas et al., 1993).

2.2.2. Beta-poisson 모형

Beta-poisson 모형(식 (3))은 음용수의 세균성 미생물에 의한 감염을 평가하기 위해 개발된 모형으로, 일정 농도의 미생물을 섭취할 경우 발생 가능한 위험을 평가하는 경험 모형이다(Haas et al., 1993, 1999).

$$P_I = 1 - [1 + \frac{N}{N_{50}}(2^{1/\alpha} - 1)]^{-\alpha} \quad (3)$$

P_I : The risk of infection by ingesting pathogens in drinking water

N : Number of pathogens ingested

N_{50} : Number of pathogens that will infect 50% of the exposed population

α : Slope parameter

본 실험에서 선택한 MS2는 인체에 대하여 병원성 미생물이 아니기 때문에 N_{50} 과 α 값을 고려하기 위해, MS2가 다른 미생물에 비하여 UV 처리에 강한 내성을 나타내며 보수적으로 평가가 이루어진다는 점을 주목하였다. Lazarova and Savoye(2004)의 연구에 의하면 4 log 와 5 log 의 수준의 미생물 제거(MS2, indigenous coliphages, vaccine poliovirus, indigenous enterovirus)를 위해서 UV를 조사하였을 때, MS2의 경우가 가장 높은 수준의 UV 조사량이 필요한 것으로 나타났다. 표 1에 제시한 네 가지 대상 미생물(*Salmonella*, *Vibrio cholerae*, Rotavirus, and *E. coli*)을 대상으로 N_{50} 와 α 값을 고려하여, 위해도를 보수적으로 평가할 수 있도록 하였다(정광욱 등, 2005; An et al., 2006; Haas et al., 1999; Lazarova and Savoye, 2004).

2.2.3. 발병가능성 ($P_{D:I}$)과 발병위해도 (P_D)

병원성 미생물에 감염된 경우 개개인의 상태에 의해 질

병으로의 발병 여부가 결정된다. 이는 섭취와 질병 사이의 상관성을 찾아내는 것은 어렵다. 데이터를 통하여 발병가능성이 확인되기 전까지는 중간값인 50%를 발병가능성으로 사용한다. 감염된 사람이 질병으로 발전하는 위해도(P_D)는 식 (4)를 통하여 구한다(정광욱 등, 2005; An et al., 2006; Haas et al., 1999).

$$P_D = P_{D:I} \times P_I \quad (4)$$

P_D : The risk of an infected person becoming diseased or ill

$P_{D:I}$: Possibility of an infected person developing clinical disease

P_I : The risk of infection by ingesting pathogens in drinking water

3. 결과 및 고찰

3.1. Collimated beam batch test 결과

MS2의 불활성화 정도는 탁도와 부유물질의 농도에 따른 영향을 받음이 확인되었다(Fig. 3). 이에 대한 실험결과를 회귀곡선으로 나타내었으며, (-) 값을 포함하여 회귀곡선을 도출하였다. 이는 실험결과를 모두 반영하기 위함이었으며, UV 처리에 대한 저감효율을 보이지 않는다는 것으로 해석할 수 있다. 탁도가 0 NTU이며 부유물질이 0 mg/L였을 때, 30 UV dose의 불활성화값은 2.0 log (99% 제거)였으며, 60 UV dose의 불활성화값은 2.5 log (99.7% 제거)였다. 본 실험에서 설계된 두 가지의 조사량 모두에서 탁도와 부유물질의 농도에 따른 영향이 유사한 추세를 보여준다. 로그스케일(log scale)에서 탁도와 부유물질의 농도가 낮을수록 MS2의 불활성화 증가율은 높아졌다. 이 결과는 또한 일정 수준의 탁도와 부유물질 농도에 도달하였을 경우, MS2의 불활성화 증가율이 감소되고 있음을 보여준다. 이러한 추세는 입자성 물질의 농도가 UV 처리에 대한 포화점에 도달한 것으로 평가할 수 있으며, 입자성 물질의 농도가 UV 처리에 영향을 미치는 변수임을 뒷받침한다.

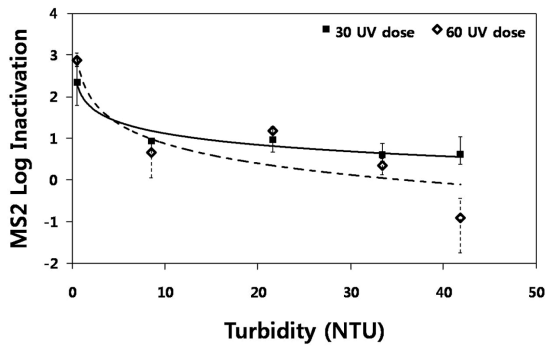
UV 조사량에 따른 MS2의 불활성화율의 비교 시, 낮은 수준의 탁도(4.27 NTU 이하)와 부유물질(1.47 mg/L 이하)의 농도 범위에서 조사량이 클수록 불활성화 증가율이 더 높다는 결과가 도출되었다. 탁도와 부유물질이 고농도 범위에서는 조사량이 큰 경우에 불활성화 증가율이 낮다는 결과가 도출되었다. 하지만, 입자성 물질의 고농도 범위에서 MS2 불활성화율은 30 mJ/cm²와 60 mJ/cm²의 조사량에서 1 log 미만을 보이며, 탁도 및 부유물질의 농도가 증가함에

Table 1. Best fit dose-response parameters for humans (Haas et al., 1999)

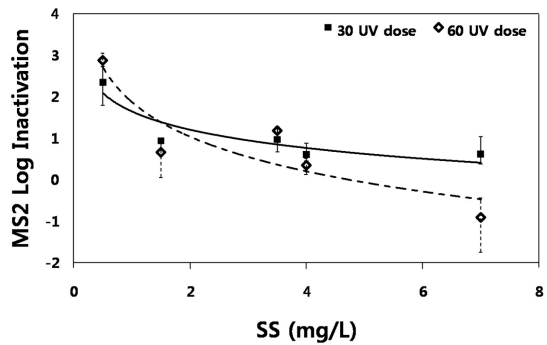
	<i>Salmonella</i>	Rotavirus	<i>Vibrio cholerae</i>	<i>Escherichia coli</i>
N_{50}	23,600	5.6	243	8.6×10^7
α	0.31	0.27	0.25	0.18
$P_{D:I}$	0.22 ¹⁾	0.57 ¹⁾	0.841	0.5 ²⁾

1) Frank et al., 2002

2) An et al., 2006



(a) Turbidity and MS2 inactivation



(b) SS and MS2 inactivation

$$*MS2inactivation = \log(N_0 / N_t)$$

(N_0 : before UV treatment, N_t : after t times UV treatment)

Fig. 3. Relationships between MS2 inactivation with turbidity(a) and SS(b).

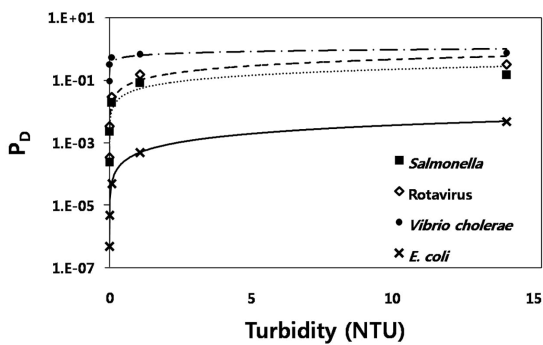
다른 MS2 불활성화율의 변화가 크지 않다는 실험 결과를 통해, 입자성 물질의 농도가 일정 수준 이상으로 높을 때에는 조사량에 따른 UV 처리 효과를 고려하는 것이 의미가 없다고 할 수 있다.

3.2. 미생물 위해성 평가 적용

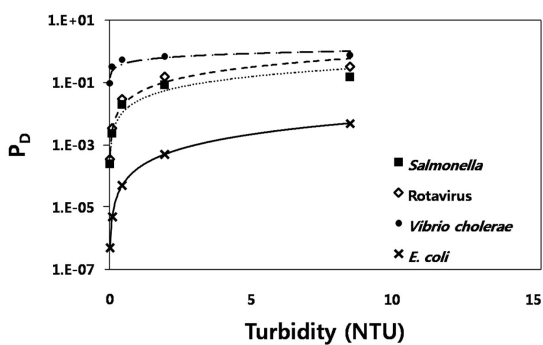
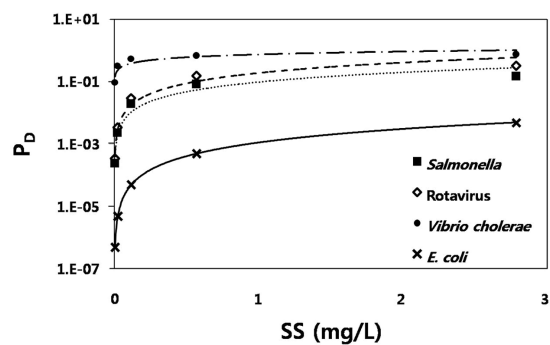
본 연구에서 수행된 미생물 위해성 평가에서는 P_D 값에 주목하였다. collimated beam batch test를 통하여 산출된 미생물의 적정 저감율을 이용하여 전염가능한 미생물 농도를 기준으로 위해성을 도출하는 것은, 비록 여러 미생물을 대상으로 실시하였다 하더라도 특정 수준 이하의 위해도로 낮출 수 있다는 것을 보여주는 것 이상의 의미가 없다고 판단하였기 때문이다.

P_D 는 선정된 병원성 미생물의 전염 가능한 농도를 기준으로 인체에 노출이 한 번 발생한 경우에는 한 종의 미생물에 노출이 발생한다는 가정 하에 산출하였다(Table 2). 또한, 실험을 통하여 도출된 MS2 불활성화율과 탁도 및 부유물질농도에 대한 회귀곡선을 이용하여 1 log ~ 5 log 사이에서의 불활성화율에 대한 P_D 값을 산출하였다. Fig. 4는 계산된 P_D 값과 탁도 및 부유물질 농도 값에 대한 회귀곡선을 도시한 것이다.

P_D 결과는 불활성화율이 감소할수록 증가하는 추세를 보인다. 이는 미생물의 처리가 잘 이루어질수록 위해도가 낮게 나타나는 추세를 이야기하는 것으로서 보다 쉬운 이해를 도울 수 있는 표현 방법이라 할 수 있다. 탁도와 부유물질이 저농도로 존재하는 경우 P_D 결과는 급속히 증가하



(a) 30 UV dose (mJ/cm^2)



(b) 60 UV dose (mJ/cm^2)

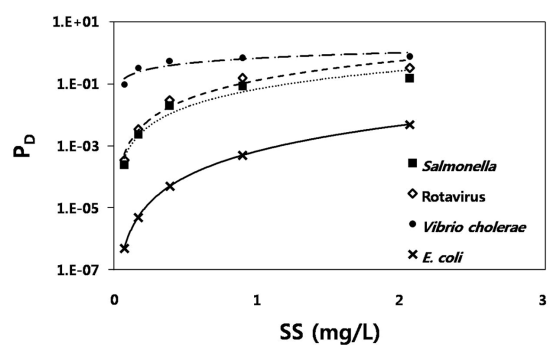


Fig. 4. The results of risk probability, P_D by pathogens with the changes of UV dose.

Table 2. Infectious doses of selected pathogens (Feachem et al., 1981)

Infectious pathogen	Infectious Dose	Type
<i>Salmonella</i>	$> 10^6$	Bacteria
Rotavirus	$< 10^2$	Virus
<i>Vibrio cholerae</i>	$> 10^6$	Bacteria
<i>Escherichia coli</i>	$> 10^6$	Bacteria

Table 3. Recommended water quality standards for reclaimed water in South Korea (MEV, 2009)

	Turbidity (NTU)	SS (mg/L)
Agriculture (Direct edibility)	≤ 2	-
Agriculture (Indirect edibility)	≤ 5	-
Wetland	-	≤ 6
Stream maintenance	-	≤ 6

는 결과를 나타내지만, 특정 농도 지점을 지난 이후에는 위해도의 변화가 없음을 보이고 있다. 이는 앞서 분석한 collimated beam batch test의 결과와도 일치하며, 고농도의 입자성 물질이 존재하는 경우 UV 처리 효과가 떨어짐을 대변한다. 또한, UV 조사량에 따른 차이를 분석하였을 때, 60 mJ/cm^2 에서의 기울기가 30 mJ/cm^2 보다 탁도 및 부유물질의 농도에 따라 완만히 증가하는 P_D 값을 보이고 있다. 이는 비록 고농도의 입자성 물질의 농도에서는 UV 조사량에 따른 위해도 변화는 거의 없지만, UV 조사량이 강할수록 입자성 물질의 농도가 처리 효율에 적은 영향을 미치며, 발병가능성에 대한 위해도가 낮다는 결과를 보여준다.

국내 대부분의 하수처리장의 하수처리 방류수의 수질은 국내 하수처리수 수질기준을 만족하고 있다. 하지만, 하수처리수를 농업용수로 재이용하기 위해서는 추가적인 처리 및 관리가 반드시 필요하며, 지역특성 및 방류수 특성에 맞는 적절한 처리를 통해 인체 안전성이 확보되어야 한다.

Table 3에서 제시하고 있는 재이용수를 위한 수질기준을 Fig. 3에서 제시한 회귀곡선에 적용하였다. 2 NTU의 탁도에서는 약 $1.8 \sim 2 \log$ 불활성화율을 보였으며, 5 NTU의 탁도에서는 약 $1.4 \log$ 불활성화율을 보였다. 부유물질의 경우, 6 mg/L의 농도에서 약 $0.3 \sim 0.5 \log$ 불활성화율을 보였다. 또한, P_D 를 산출한 결과에서도 이와 유사한 추세를 나타내었다. 부유물질의 경우, UV 처리 시스템을 효율적으로 이용할 수 있는 입자성 물질의 범위가 아님을 알 수 있다. 따라서, 입자성 물질 농도 제어 및 관리는 효율적인 UV 처리 시설의 운영과 재이용수의 안전한 이용을 위하여 필수적이라 할 수 있다. 또한, 적절한 관리 범위를 산정하여 관리 시스템에 적용하는 것이 중요하다.

4. 결론

하수처리수는 대체 수자원으로서의 이용가치가 있는 중요한 수자원이지만, 이에 대한 적절한 정책적 지원 및 지속적인 관리 없이는 이용 불가능한 수자원이다. 본 연구에서는 UV 살균 처리시의 최적 조건을 찾기 위하여, 탁도

및 부유물질의 농도에 따른 MS2 불활성화율의 관계에 대한 실험을 하였다. 또한, 농업적 재이용을 위한 하수처리수의 이용은 경제적인 측면 및 환경적인 측면에서 잠재된 장점을 많이 가지고 있지만, 이를 위하여 작업자인 농부 및 대중의 이해와 참여가 절실하다(Kretschmer et al, 2000; Po et al., 2003). 이들의 참여를 유도하고, 재이용수에 대한 이해를 돕기 위한 방법으로서 미생물 위해성 평가를 도입하였다.

본 연구의 실험 결과 UV 살균 처리에 따른 MS2의 불활성화 정도는 낮은 수준의 탁도(4.27 NTU 이하)와 부유물질(1.47 mg/L 이하) 농도에서 30 mJ/cm^2 에서 보다 60 mJ/cm^2 에서 높은 불활성화율을 나타내었다. 하지만, 높은 수준의 탁도와 부유물질 농도에서는 MS2 불활성화에 대한 추세가 명확하게 나타나지 않았다. 따라서 하수처리수의 재이용 시스템에서는 UV 살균 처리 전에 입자성 물질의 제거를 위한 여과 단계 등을 통하여 일정수준의 탁도(5 NTU 미만)와 부유물질(2 mg/L 미만)의 농도를 고려하여 설계 및 운영하여야 한다.

미생물 위해성 평가의 적용 결과 낮은 수준의 입자성 물질과 높은 UV 강도에서 발병가능성(P_D)은 급속히 감소하였다. 하지만, 특정 수준 이상의 농도에서 발병가능성은 거의 일정한 수준을 보였다. 미생물 위해성 평가의 적용 결과는 수치적 표현으로 나타낼 수 있다. 또한 MS2의 불활성화율이 증가하였을 경우에 미생물 위해도 역시 함께 증가하는 경향을 나타낸다. 따라서 안전성에 대한 이해를 보다 쉽게 도출 수 있으며, 대중에게 재이용수의 안전성을 설명하기 위한 유용한 도구로서 사용될 수 있다.

사 사

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호 4-5-3)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- 김영란(1999). 하수처리수 재이용의 타당성 연구. 서울시정개발연구원.
- 박승우(2004). *Water for our future ; 생활하수로 농사를 지을 수 있을까?* 에코 리브르.
- 이건형(2001). 미생물학적 위해성 평가. *미생물학회지*, 37(2), pp. 101-108.
- 이한필, 윤춘경, 정광욱, 손장원(2009). 하수의 농업적 재이용에 따른 논 담수내 미생물 위해성 평가. *수질보전 한국물환경학회지*, 25(1), pp. 66-75.
- 정광욱, 윤춘경, 안윤주, 장재호, 전지홍(2005). 하수처리수를 관계한 후 벼재배 시험구에 대한 미생물 위해성 평가. *한국육수학회지*, 28(2), pp. 225-236.
- 조창익(2009). *수리권 관리 및 배분에 관한 일고찰*. 연구보고 09-02, 강원발전연구원
- 허형우(2007). 대체수자원으로서의 하수처리수 재이용. *지반환경*, 8(3), pp. 4-5.

- An, Y. J., Yoon, C. G., Jung, K. W., and Ham, J. W. (2006). Estimating the microbial risk of *E. coli* in reclaimed wastewater irrigation on paddy field. *Environmental Monitoring and Assessment*, **129**(1-3), pp. 53-60.
- APHA (2005a). In Turbidity, *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 21st ed. American Public Health Association. Washington, DC. 2-8 - 2-9.
- APHA (2005b). In Solids, *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 21st ed. American Public Health Association. Washington, DC. 2-55 - 2-61.
- Feachem, R. G., Bradley, D. J., Garelick, H., and Mara, D. D. (1981). *Health Aspects of Excreta and Sullage Management: A State-of-the-Art Review*. The World Bank, Washington, D.C.
- Frank, J. L., Donald, E. T., and Douglas, R. C. (2002). PCR detection of specific pathogens in water: A risk-based analysis. *Environmental Science and Technology*, **36**(12), pp. 2754-2759.
- Haas, C. N., Rose, J. B., and Gerba, C. P. (1999). *Quantitative Microbial Risk Assessment*, John Wiley and Sons. Canada.
- Haas, C. N., Rose, J. B., Gerba, C., and Regli, S. (1993). Risk assessment of virus in drinking water. *Risk Analysis*, **13**(5), pp. 545-552.
- Kretschmer, N., Ribbe, L., and Gaese, H. (2000). Wastewater reuse for agriculture. *Technology Resource Management & Development - Scientific Contributions for Sustainable Development*, **2**, pp. 37-64.
- Lazarova, V. and Savoye, Ph. (2004). Technical and sanitary aspects of wastewater disinfection by UV irradiation for landscape irrigation. *Water Science and Technology*, **50**(2), pp. 203-209.
- MEV. (2009). Guidelines for sewage disposal water reuse, 1469. the Ministry of Environment of Korea.
- Po, M., Kaercher, J. D., and Nancarrow, B. E. (2003). Literature review of factors influencing public perceptions of water reuse, Technical Report 54/03. CSIRO LAND and WATER.
- US EPA. (1989). *Risk Assessment Guidance for Superfund Volume I, Human Health Evaluation Manual(Part A)*, Washington, D.C. 20450.
- US EPA. (1992). *Guidelines for Water Reuse*. EPA/625/R-92/004.
- US EPA. (2001). Method 1602: *Male-specific (F+) and somatic coliphage in water by single agar layer (SAL) procedure*, EPA No. 821/R-01/029. U.S. Environment Research, 67, pp. 1065-1072.