

용수 재이용을 위한 하수처리수 관개 후 논에서의 지표성 미생물의 거동

Indicator microorganisms concentrations change after irrigation of wastewater
treatment effluent in paddy field for water reuse

정 광 옥* · 윤 춘 경(건국대)
Kwang-Wook Jung · Chun G. Yoon

Abstract

The objective of this research was to examine the significance of change to indicator microorganisms (TC, FC, and *E. coli*) in the paddy field and repair of UV disinfected secondary effluent.

Average concentrations of Microorganisms were maintained by more than about 1,000 MPN/100mL in paddy field after irrigation.

Microorganism repair was evaluated in relation to UV dose in photoreactivating light and dark. In addition, a significant inverse relationship was found between UV dose and repair of indicator microorganisms when the research of wastewater was conducted in the condition of low and high UV dose.

1. 서 론

세계적으로 생활하수의 재이용에 대한 관심과 노력이 계속되고 있는데 재이용수의 활용 분야는 중수도, 공업용수, 농업용수, 그리고 하천유지용수 등으로 다양하며, 많은 국가에서는 하수 재이용을 주요한 수자원으로 인식하고 있다.

우리나라의 농업용수는 전체용수량의 약 50 %를 차지할 정도로 사용량이 많기 때문에 하수 처리수는 재이용 할 수 있는 가능성이 매우 크다고 할 수 있다.

일반적으로 소독은 염소소독이 주로 사용되어져 왔으나, 잔류염소가 생태계에 미치는 영향과 THMs의 생성 등으로 인하여 UV소독 등이 주목을 받고 있다. 그러나, UV소독은 소독제의 잔류성이 없기 때문에 일단 방류되면 미생물의 회복 (repair) 문제를 일으킬 수 있다. 근자외선 또는 violet - blue spectral range에 노출되었을 때 자외선에 의한 손상을 회복시키기 때문에 광회복 (photoreactivation)이 발생된다.

본 연구에서는 논농사를 주로 하는 우리나라에 하수처리수가 농업용수로 재이용될 경우 UV소독 후 일어나는 광회복 문제에 대한 검토와, 하수처리수가 벼농사에 이용되었을 경우 지표성 미생물의 농도변화에 대해 고찰함으로써, 하수처리수가 농업용수로 이용될 경우 기초자료로 이용하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1 UV소독시설 및 광회복 실험

반응조는 내경이 96mm, 길이 860mm이고, 반응조 내부에는 석영관 ($\phi 24.5 \text{ mm} \times 860 \text{ mm}$)이 자외선 램프를 감싸고 있고 반응조와 석영관 사이에 유체가 흐를 수 있는 간격은 약 36 mm이다 (Fig. 1). UV 소독의 소독능을 표현하는 방식은 자외선조사량 (UV dose)을 사용하며, 자외선 강도에 노출시간 (second)을 곱하여 구한다 자외선강도 (UV Lamp Intensity)는 램프 자체에서 발생하는 소독할 수 있는 자외선의 양을 측정한 단위면적당 강도로 표현된다. 자외선강도를 계산하는 방법은 point source summation (PSS)를 사용하였다 (Tchobanoglous *et al*, 1996)(Table 1).

광회복은 살균시 램프의 살균 강도, 자외선 조사 거리, 광회복 실험시 빛의 노출시간, 시료의 깊이, 온도, 하늘 상태 등 많은 제한 요소를 가지고 있다. 본 연구에서는 자외선에 의해 소독된 처리수를 인공 램프에 의한 광회복 빛 조건, 암실회복, 태양광에 직접 노출시킨 3가지 조건으로 실험하였다. 각 항목에 대한 실험은 3반복이상 수행하여 평균값으로 사용하여 분석하였다. 수질측정항목은 Standard Methods (APHA, 1998)에 따라 분석하였다.

Table 1. Characteristics of UV lamp used for experiment

Lamp name	UV Output* (watts)	Intensity ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$)	Exposed time(sec)	Dose ($\text{mW} \cdot \text{sec}/\text{cm}^2$)
G10T5L	5.7	895.28	6.78	6.00
TUV36WT5	15	999.75	16.00	16.00

2.2 비재배 포트 시험포트

비재배 포트 실험은 $40 \times 50 \text{ cm}$ 의 플라스틱 포트 (plastic pot)을 이용하여 기존에 논으로 이용하는 논 토양을 채우고 2003년 5월 29일에 재식 거리 $10 \times 10 \text{ cm}$ 로 1주 1본식으로 수도 이양 하였다 (Fig.1)

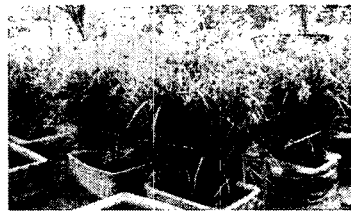
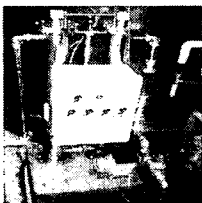


Fig 1. UV disinfection system and plastic pots test using rice paddy field

실험방법은 하천수, biofilter 유출수를 $6.0 \text{ mW} \cdot \text{s}/\text{cm}^2$ 과 $16.0 \text{ mW} \cdot \text{s}/\text{cm}^2$ 의 자외선조사량으로 소독한 후 관개, 그리고, biofilter 유출수를 관개한 처리구로 실험하였으며, 각 처리구당 3개의 플라스틱 포트를 이용하였다. 실험 방법은 포트내의 물을 제거한 후 처리구 별로 5 L를 관개한 후 각 시간별로 샘플링 하였다.

각각의 샘플링 방법은 완전히 멸균된 피펫을 이용하여 포트별로 5군데의 지점을 선정하여 농도양이 교란되지 않게 하여 채취하여 6시간이내에 실험실로 운반하여 실험하였다. 샘플채취는 이양 후(5월 29일), 기비 후(6월26일), 7월8일, 이삭비 후(8월 1일) 총 4회를 실험하였으며, 1일 동안의 지표성 미생물의 농도변화를 분석하였으며, 항목은 TC, FC, *E.coli* 였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 자외선 조사량에 따른 미생물 회복

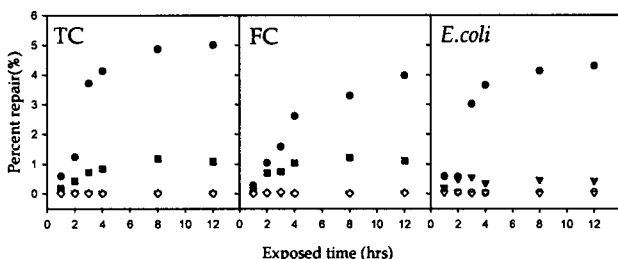


Fig. 2 Percent photoreactivation with UV doses

(●: 6 mW·s/cm² with photoreactivation; ■: 6 mW·s/cm² with dark repair; ◇: 16 mW·s/cm² with photoreactivation; ▽: 16 mW·s/cm² with dark repair)

자외선조사량을 6.0, 16.0 mW·s/cm²로 달리하여 지표성 미생물에 대한 광회복 빛 조건과 암실조건에서 회복에 대한 실험을 하였는데 그 결과는 Fig. 2와 같다. TC, FC, *E. coli* 모두 조사량이 적은 6 mW·s/cm²에서는 광회복 뿐 아니라 암실험회복도 조사량이 많은 16 mW·s/cm²보다 높게 일어났다.

3.2 태양광에서의 광회복

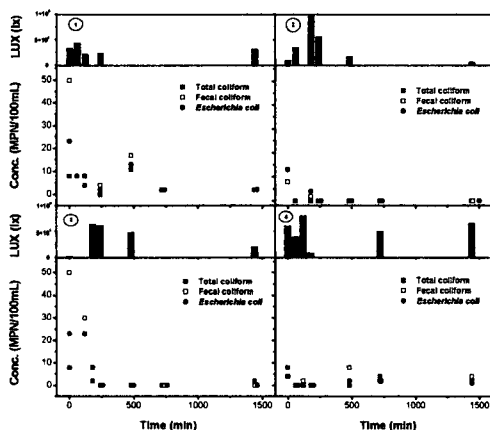


Fig. 3 Photoreactivation and solar disinfection after UV-disinfection under solar radiation

UV소독수와 소독하지 않은 상태를 태양광에 노출시킨 후 지표성 미생물의 시간별 농도변화는 Fig. 3과 같다. UV소독을 하지 않은 경우는 태양광 노출시간 60분에서 지표성 미생물 모두 현저히 감소하는 경향을 나타내었으며, 180분이 지나서는 다소 증감이 있었으나 대체로 100 MPN/100mL 이하였다. UV소독이 이루어진 처리수의 경우는 태양광 노출 시간에 따라 미생물의 농도는 약간 증감하는 경향을 나타내었으나 그 농도가 거의 무시할 수 있을 정도로 낮았다.

3.3 벼재배 포트실험에서의 지표미생물의 농도변화

관개되는 각 처리구의 지표미생물의 농도는 개울, waste water, UV dose (6 mW·s/cm²), UV dose (16 mW·s/cm²)의 농도가 약 1000, 1500, 50, 0 MPN/100mL 였다. 하지만, 관개 후의 지표미생물의 농도는 24시간 내에 농도의 변화는 있으나, Fig 3.에서

의 petri dish 실험과 같은 급격한 농도 감소는 나타나지 않았다. 관개수의 농도에 따라

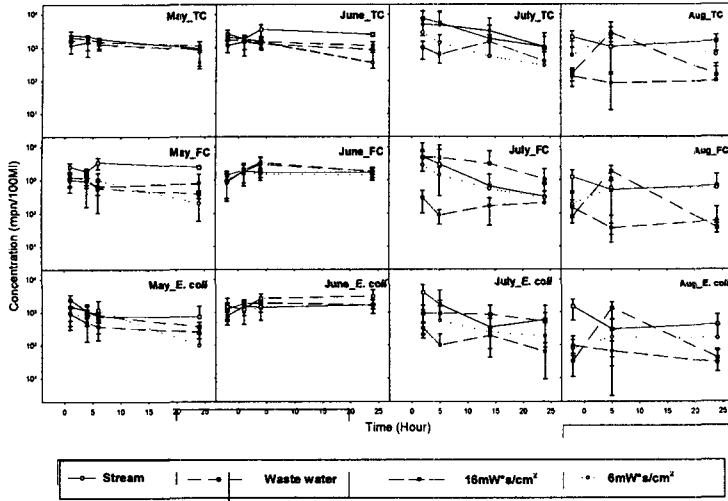


Fig 4. Concentrations of TC, FC, *E. coli* in the plastic pots during rice culture season.

논에서의 미생물 농도의 변화 또한 크지 않았다. 이는 논에서의 버퍼 (buffer) 기능 때문으로 판단되며, 평균적으로 각 처리구별 농도를 살펴보면 1000 MPN/mL 이상을 나타내었다 (Fig 4). 이는 논에서의 지표 미생물의 농도는 관개용수의 미생물 농도에 크게 영향을 받지 않고 일정농도 이상을 유지하였다. 이는 이번 연구에서 같이 조사한 주변 논 농도와 유사한 범위였으

며, 논에서의 지표미생물 농도는 일정 수준 이상을 유지하는 것으로 조사되었다.

4. 결론

1. 자외선 조사량이 적은 $6 \text{ mW} \cdot \text{s}/\text{cm}^2$ 에서는 지표성미생물의 광회복 뿐 아니라 암실회복도 일어났지만, 조사량이 상대적으로 많은 $16 \text{ mW} \cdot \text{s}/\text{cm}^2$ 에서는 광회복과 암실회복 모두 거의 일어나지 않았기 때문에 충분한 자외선 조사를 하면 미생물의 회복에 의해 발생하는 문제를 최소화시킬 수 있을 것으로 판단된다.

2. UV소독 후 태양광에 노출시킨 실험에서는 지표성미생물의 초기 농도가 노출 직후 급격하게 감소하기 시작하여, 24시간후의 농도가 모두 2.0 MPN/100mL 이하 였다.

3. 하천, biofilter 처리수, UV 처리수를 관개한 결과 관개 용수의 지표미생물 농도변화에 의한 논에서의 지표미생물 농도변화는 크지 않았으며, 일정농도 이상의 지표미생물 농도를 유지하였다.

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

참고문헌

1. APHA, 1998. *Standard methods for the examination of water and wastewater*, 20th ed. American Public Health Association, Washington, D.C., USA.
2. Yoon, C. G., K. W. Jung, J. H. Ham, J. H. Jeon. 2003. Feasibility Study of UV-Disinfection for Water Reuse of Effluent from Wastewater Treatment Plant. *Journal of the Korean Society of agricultural engineers*. 45(2): 126-137 (in Korean).