

하수처리장 방류수의 자외선 살균에 관한 기초적 연구

이용두*·허 목*

A Basic study on Ultraviolet Disinfection of Effluent from Sewage Facility

Yong-Doo Lee and Mock Huh**

Abstract

With the increased awareness of the impact of chlorinated organics in sewage effluent on receiving waters, the trend toward converting wastewater disinfection to Ultraviolet systems is expanding. Ultraviolet Disinfection system have many merits. At examples, no addition of chemicals and no effect on air or aquatic life.

So that, in this pilot study was conducted at the Cheju and Suyeong Sewage Facility to investigate the use of ultraviolet radiation for disinfection of the treated wastewater. The mainly objectives of these tests are to find out efficiency by operating factors and water qualities.

As a results, When SS of effluents were 3~6mg/ l, efficiencies were always over 99%. And also, when HRTs were 11~146 sec, efficiencies were usually over 99 %.

I. 서 론

정수장에서 소독용 염소와 원수에 포함되어 있는 휴민산이 반응해서 THM이라고 하는 발암성 물질이 생성된다고 하는 것이 1974년 미국에서 발표되었다. 한편 London

과 Paris의 하수도가 전염병의 대유행을 계기로 정비되어졌고, 일본 또한 明治시대 다수의 사망자를 낸후 정비를 시작하였다. 특히 소독은 상하수도의 보급과 동시에 염소 소독이 옛날부터 사용되어져 왔다. 이러한 염소에 의한 소독은 모든 수계에서 미량이

*해양과학대학 해양환경공학과(Dept. of Marine Environ Eng., College of Ocean Science)

나마 THM의 생성 가능성을 가지며, 공공수역에 2차오염을 일으키므로 소독의 방법을 바꾸어 사람과 생물에게 극히 안전성이 높고 조작성이 쉬우며 넓은 부지를 요구하지 않는 자외선을 이용하여 소독을 할 필요가 있다. 또한 하수는 인체내에서 질병을 일으킬 수 있는 각종 박테리아나 바이러스를 함유하고 있으므로 하수의 소독은 공중보건상 대단히 중요한 하수처리 공정의 하나이다. 따라서 본 연구에서는 표준활성슬러지법으로 처리한 하수종말처리장 방류수를 UV를 이용하여 소독할 경우 수질과 조작성에 따른 효율을 조사하는데 주목적을 두었고, 중수도로서의 이용가능성을 파악하였다.

II. 이론적 고찰

1. 자외선소독의 이론

자외선(UV Light)은 Fig. 1과 같이 가시

광선의 파장(400nm)보다는 짧고, X-선(100nm)보다는 긴 파장의 범위 안에 있는 파장을 가진 전자방사선을 의미하는 데, 그 중에 살균에 가장 적합한 파장 범위는 UV - C에 해당되는 240 ~ 260nm이다. 이 파장 범주 내에서 대부분의 에너지는 대기에 흡수되어 태양광선에는 매우 적은 양이 존재하고 있다.

본 실험에서 사용한 Plant의 주 발광원은 저압 수은 아크램프로부터 나오는 것인데, 이것이 널리 사용되는 이유는 아크램프에서 나오는 자외선에너지의 85% 정도가 253.7nm의 파장인 것이다. 이 자외선은 수은가스를 통해서 전기아크가 발생되며, 이 수은을 자극하여 생긴 에너지의 방출이 자외선의 조임이 되는 것이다.

이러한 253.7nm 파장을 갖는 자외선은 박테리아나 바이러스 등과 같은 각종 세균이 갖고 있는 유전인자의 특성에 변형을 주어 이들을 번식하지 못하게 하며, 특히 각종 세균의 세포막을 투과하여 핵산(DNA)을 손상시킴으로서 소독을 하게된다.

살균에 필요한 자외선의 조사량은 Micro

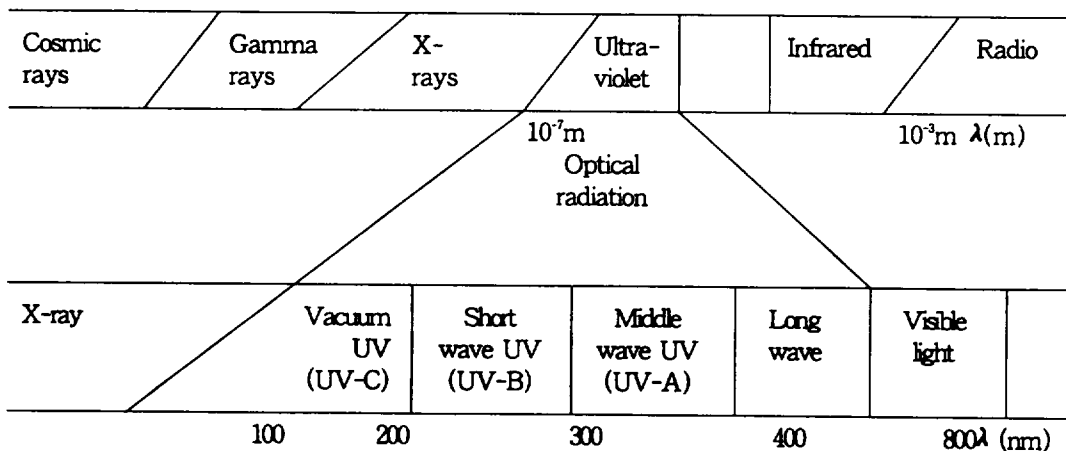


Fig. 1. Electromagnetic Spectrum

Watt-Second/cm²로 나타내며, 이는 광선의 강도에 접촉시간, 즉 체류시간을 곱한 것이다.

$$\text{조사량(Dose)} = \text{자외선강도}(\mu\text{W}/\text{cm}^2) \times \text{접촉시간(Seconds)}$$

자외선강도나 접촉시간에 영향을 미치는 요소들은 Table 1과 같으며, 그 요소들은 UV System의 효율에 많은 영향을 미친다.

자외선은 방사선과 비교하면 에너지가 대단히 약하므로 방해물질의 영향을 받는 정도가 대단히 크다. 따라서 자외선 살균

을 하수에 적용할 경우 Table 1에 나타난 인자들의 영향을 최소화하기 위하여 (무색 투명한 물에서의 유효 조사거리가 약 30cm) 투과율에 적합한 램프설치간격을 유지해야만 한다.²⁾

한편, 램프청소는 약산을 사용하며 보통 5~10%의 인산 용액을 쓰며 무기산 용액이 가장 좋다.³⁾ 램프의 청소주기는 슬리이프에 막이 쌓여 물에 투과하는 자외선량이 줄어들 것을 고려하여 2회 운전후 약산으로 램프를 청소하였다.

Table 1. Effective Factors for disinfection

UV Intensity	Retention Time
<ul style="list-style-type: none"> • Water Quality <ul style="list-style-type: none"> - UV Transmittance - The level of Suspended Solids - Dissolved Organic Compounds - Total Hardness • State of Lamp <ul style="list-style-type: none"> - Clearness level of sleeves - Operation time - Superannuation state • Treatment Process 	<ul style="list-style-type: none"> • Flow Rate • Design of UV Reactor

2 중수도의 정의 및 요구수질

중수도란 "사람이 마시기에 적합하지 않을 물을 공급하는 시설의 총체", "사용한 수도물을 생활용수, 공업용수 등으로 재활용 할 수 있도록 다시 처리하는 시설" 등등 여러형태로 정의되고 있으나 그 의미는 같

을 것이라 볼 수 있다.

중수도의 요구수질은 깨끗할수록 좋지만 중수의 용도가 수세식 화장실 세정 용수 등으로 이용되어 상수와 같은 양질의 수질을 요구하는 것이 아니므로 처리비용 등을 고려할 경우 적정처리 수준을 유지하는 것이 중요하다. 요구되는 수질조건은 용도에

따라 각각 다르고, 그에 따른 일반적인 기준은 Table 2과 같다.

중수도의 수질목표는 사용자의 건강을 보호하고, 쾌적한 이용과 안정성을 확보하기 위해 각각의 용도에 따라 적합한 수질 기준을 설정해야 하며, 다음과 같은 기본적인 사항이 검토되어야 한다.”

- ① 위생상의 문제점이 없을 것
- ② 이용상의 지장이 없을 것
- ③ 이용상의 불쾌감을 주지 않을 것
- ④ 시설이나 기구에 악영향을 미치지 않을 것
- ⑤ 처리기술에 대한 안정성이 확립되어 있어야 할 것
- ⑥ 유지관리 수준의 확보 및 판정을 위한 적절한 지표가 있을 것
- ⑦ 처리비용이 경제적인 것
- ⑧ 기타 특수 사항

Table 2. Criteria of Water Quality for reuse of treated water

Use of reuse water Item	Flush Toilet Wash	Springkle-Water-Water	Landscape archtechture-Water
E.coli	10MPN/1 ml	None Detectable	None Detectable
Residual Chlorine	Detectable	> 0.2mg/ l	-
External appearance	None unpleasant	None unpleasant	None unpleasant
Turbidity	< 5	< 5	< 5
BOD (mg/ l)	< 10mg/ l	< 10mg/ l	< 10mg/ l
Odour	None unpleasant	None unpleasant	None unpleasant
pH	5.8 ~ 8.5	5.8 ~ 8.5	5.8 ~ 8.5

Ⅲ. 실험장치 및 방법

1. 실험장치

본 실험에서 적용된 장치는 Fig. 2와 같고, 캐나다의 Trojan Technologies 사에서

제공된 UV2150-PTP로 2차처리수에 대하여 500톤/일 정도의 처리 능력을 갖고 있으며, UV Lamp가 2개씩 연결된 UV 모듈 3개로 이루어져 있다. Lamp는 물의 흐름방향과 평행하게 수평방향으로 상하 좌우 중심간격 7.5cm로 설치되었다.

Lamp의 길이는 162.5cm이며, 유효길이 (Arch Length)는 147cm, 이 램프는 직경

2.3cm의 석영 슬라이브 안에 들어있고, 전체시스템의 운영과 제어는 램프, Intensity Meter, Lamp Ballast, Lamp 지시등과 접지 보호장치가 구비된 Control Panel를 통해 행해진다.

실험장치는 길이 약 245cm의 스테인레스 강철로 된 수로로 되어 있으며, 유효수심은 15.24cm, 반응조(Reactor)의 전체부피는 0.0476m³이다.

본 Unit에 2마력 펌프 1대로 방류수로의 물을 끌어 올리고, 유량은 인입부에 설치되어 있는 2개의 밸브로 조절하고, 유량측정은 V-Notch에서 Thomson공식을 이용하여 측정하였다.

$$\text{Thomson 공식 : } Q = 8/15 \times C \times \tan a \times \sqrt{2g} \times h^{5/2}$$

여기에서, C = 0.935
a = 45°
g = 980cm/sec

2. 실험방법

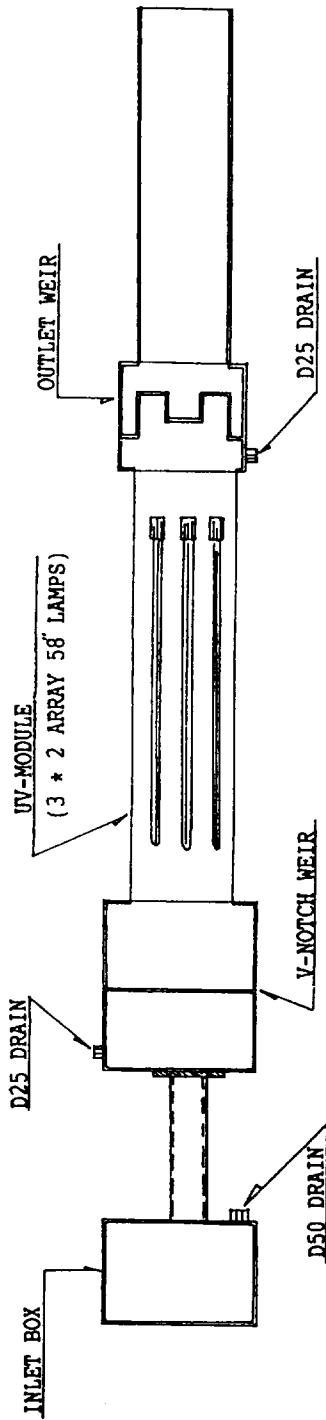
본 연구에서는 '93년 3월(동계)과 8월(하계)에 수영 하수처리장과 '95년 7월~9월까지의 제주 하수처리장의 방류수를 이용하였고, 실험항목과 방법은 Table 3과 같다.

처리수중의 대장균군수와 중수도의 활용을 위한 수질과의 적합성을 파악하기 위해 UV 조사량을 조절하면서 실험하였다. 또한 UV 조사량에 영향을 미치는 인자로서 강도(Intensity)는 6000μW-sec/cm²로 고정되어 있으므로, 본 실험에서는 유량조절을 통하여 체류시간을 변화시키므로써 조사량을 조절하였다.

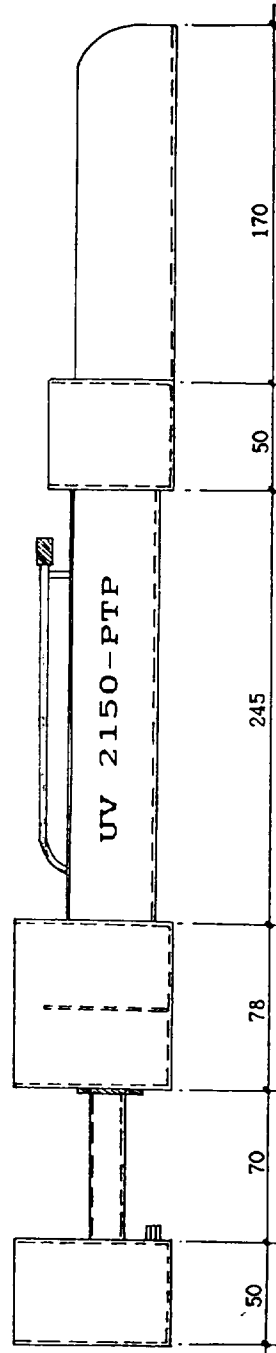
Table 3. Experiment items and analytical methods

Item	Method
pH, SS, BOD, E.coli (MPN)	Standard Method
UV Transmittance	<ul style="list-style-type: none"> • Spectrophotometer - The UV transmittance is the relative percent of UV light(at 253.7nm) passing through a 1 cm layer of wastewater as compared to the amount which pass through a control sample of distilled water.

PLAN VIEW



SECTION



(단위 : cm)

Fig. 2. Schematic diagram of UV Pilot Unit

IV. 결과 및 고찰

'93년 3월과 8월의 부산 수영 하수처리장과 '95년 7~9월 중에 제주시 하수처리장 방류수를 UV를 이용하여 살균실험을 행하였

다. 실험을 행한 결과 SS, 투과율, 강도 등은 살균효과와 강한 상관성을 나타내었다.⁵⁶⁾

방류수의 SS변화를 살펴보면 아래 Fig 3과 같다. SS는 4~6.4mg/l의 범위로서 방류수의 SS는 변동이 크지 않음을 알 수 있었다.

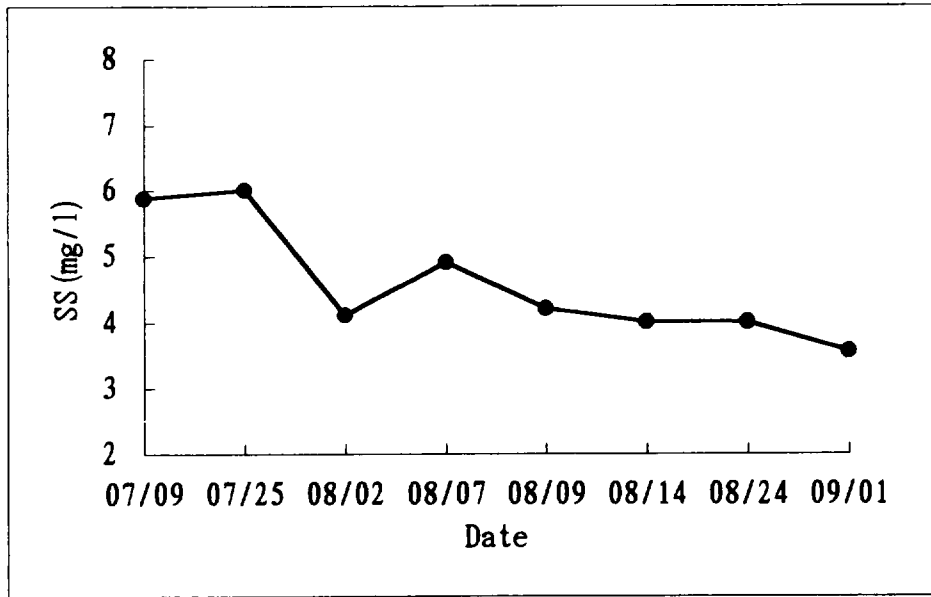


Fig. 3. Daily variation of Suspended Solids

UV투과율에는 SS가 가장 크게 영향을 미친다. 폐수중의 SS는 UV를 흡수하거나 산란시켜 UV의 조사거리 및 강도를 약화시킨다. 이는 곧 SS와 UV투과율과의 관계로 도시할 수 있는데, Fig. 4를 보면 SS의 증가에 따라 투과율이 낮아짐을 알 수 있다.

이런 SS의 증가에 따라 투과율이 감소하여 N/No에 미치는 상관관계를 Fig. 5에 나타내었다.

Fig. 5에서는 방류수를 UV System으로 처리하였을 경우 SS가 높을시 N/No가

높아지므로 그만큼 체류시간을 늘려주거나 강도를 높게하여 UV조사량을 높여야 한다는 것을 알 수 있다.

여기서 Fig. 4는 SS가 투과율을 크게 좌우하는데 비해 Fig. 5에서는 SS가 N/No에 미치는 영향은 Fig. 4에 비해서는 조금 약한 관계를 나타내고 있다. 이와같은 원인은 어떤 특정 미생물에게는 (일반 세균 복사가 일어날 수 있는 위험 수치에서) 효소가 회복되거나 일부를 절제하는 과정을 통해 UV 조사 한계치를 극복하고 계속 자신을 복제

할 수 있는 기능을 가지고 있다고 알려져 있고,³⁾ 박테리아 포자와 같은 경우 UV조사 를 차단할 수 있는 특수한 보호기능을 가지고 있기 때문인 것으로 여겨진다.

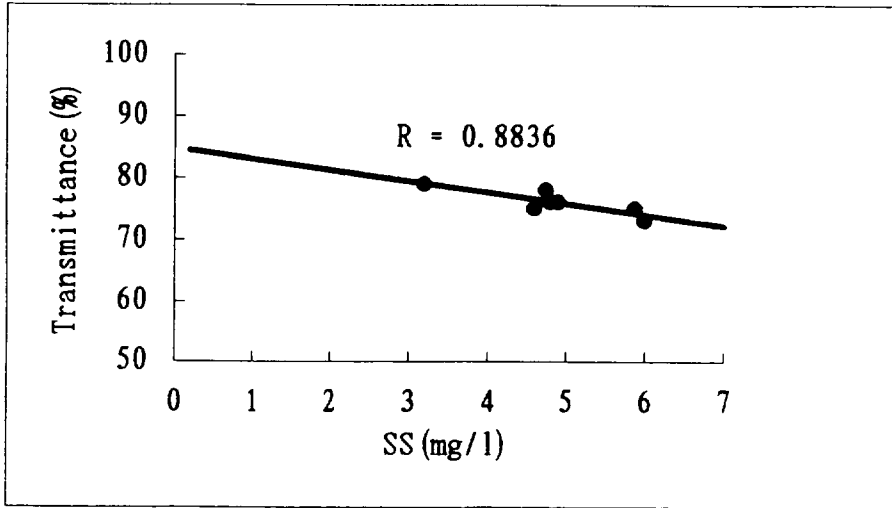


Fig. 4. Relation between SS and Transmittance

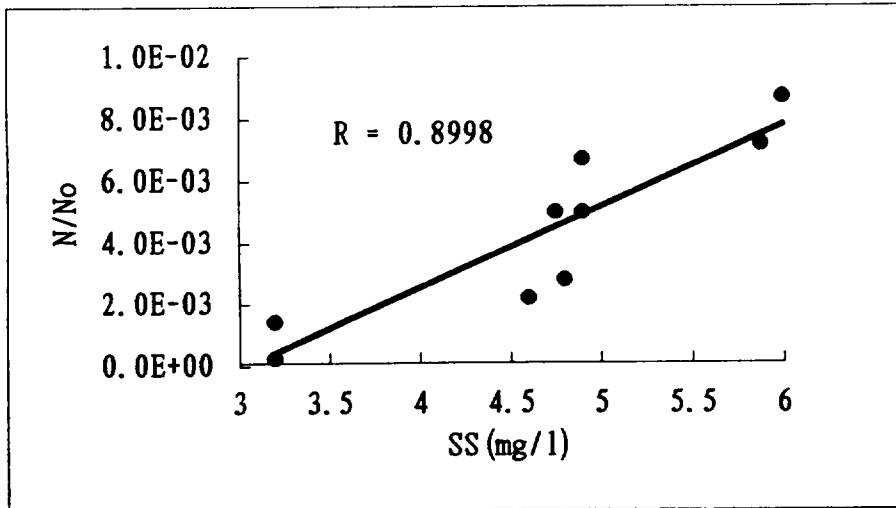


Fig. 5. Relation between SS and N/No

1. UV Dose와 N/No와의 관계

Fig.6은 UV Dose에 따른 N/No가 어떤 관계를 갖고 있는지 나타내고 있다. UV Dose가 약 250000 $\mu\text{W}\cdot\text{sec}/\text{cm}^2$ 까지는 UV Dose가 증가할수록 N/No의 값은 작아져서 살균에 효과가 있다. 그러나 보다 큰 조사

량에서는 조사량의 증가에 따른 N/No의 값은 감소하지 않는다. Fig. 6에서의 N/No의 최저값에서의 조사량은 약 66,000 $\mu\text{W}\cdot\text{sec}/\text{cm}^2$ 으로 이 조사량으로는 유출수의 대장균 기준의 대부분을 달성하였다. 따라서 66,000 $\mu\text{W}\cdot\text{sec}/\text{cm}^2$ 이 적절한 조사량임을 알 수 있었다.

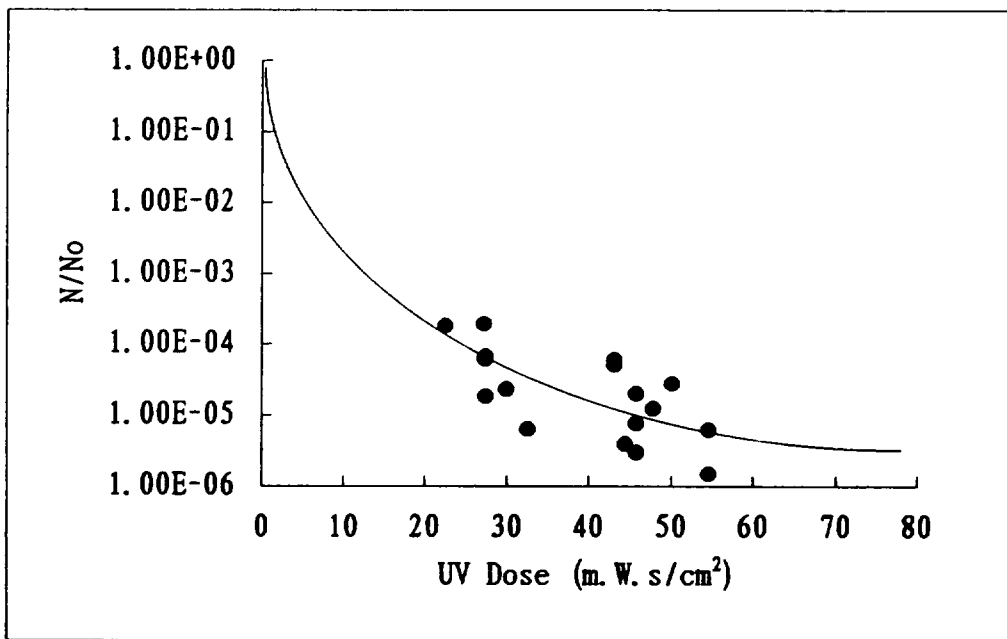


Fig. 6. Relation between UV Dose and N/No

2. 조사량에 따른 UV System-용적 산출

UV Dose는 곧 체류시간과 UV강도의 곱으로써 나타나므로 UV체적조사량이 66,000 $\mu\text{W}\cdot\text{sec}/\text{cm}^2$ 일경우 UV평균강도가 6,000 $\mu\text{W}\cdot\text{sec}/\text{cm}^2$ 이므로 11sec의 체류시간이 요구된다. 따라서 UV System의 용적은 UV최적 조사량과 유량에 따라 설계할 수 있다. 예를

들어, 제주시 하수처리장의 일일 방류수가 60,000 m^3/day 로 방류된다면 7.64 m^3 의 UV System 용적이 요구됨을 알 수 있다.

3. 중수도로서의 이용가능성 평가

위 최적조사량 66,000 $\mu\text{W}\cdot\text{sec}/\text{cm}^2$ 으로는

Table 4에서와 같이 일반적인 중수도의 대장균군수 기준이(1ml 당 10 이하) 달성되었다.

미국의 경우는 주정부마다 대장균군수의 기준이 다르나, 대부분의 관계용수의 대장균군수의 기준은 1000MPN/100ml이며, California의 경우가 23MPN/100ml로 가장

엄격하다.

Table 4을 기준으로 살펴보면 제주 하수처리장의 방류수를 UV살균을 통해 중수도로 이용할 경우 살수용수, 조경용수 등을 제외한 대부분의 경우에는 사용이 가능할 것으로 사료된다.

Table 4. Criteria of E. Coli for Reuse of Treated water In Japan

Use	Criteria E.coli(MPN/ml)	Reference Column
Toilet-Water	< 10	
Sprinkle-Water	None Detectable	
Landscape archtechure-Water	None Detectable	
Flush Toilet Wash- Water	< 300	
Washing-Water	< 1	
Bath-Water	None Detectable	
Washing Face-Water	None Detectable	
Cleaning,Car- Washing-Water	< 1	
Swimming pool-Water	5 case toward to 10ml sample, positive is 2 and less	
Marine Product-Water	1000(MPN/100ml)	Case in breeding oyster culture : 70(MPN/100ml)
Agriculture-Water	Because This is depend on the total rivers we obey river's water Environtal Standard	

V. 결 론

제주 및 수영 하수처리장 방류수를 자외선 조사방식으로 살균 처리실험을 행하여 얻은 결과는 다음과 같다.

1. 수영 하수처리장 방류수의 평균 유입 대장균군수는 3월에 2.53×10^6 MPN/100ml, 8월에 1.17×10^6 MPN/100ml였으며, 조사량이 $43,000 \sim 60,000 \mu W \cdot sec/cm^2$ 이 나, $26,000 \sim 28,000 \mu W \cdot sec/cm^2$ 의 조사범위에서는 유입 대장균군수를 $1/10,000 \sim 1/100,000$

까지 줄일 수 있었는데, 이것을 백분율로 표시하면 99.99%~99.999%의 살균 효과를 얻을 수 있었다.

2. 제주시 하수처리장 방류수의 평균 유입 대장균군수는 6.4×10^4 MPN/100ml이며, 조사량이 $66,000 \mu W\text{-sec/cm}^2 \sim 85,000 \mu W\text{-sec/cm}^2$ 일 때, 유입대장균군수를 1/1,000 ~ 1/10,000 까지 줄일 수 있었는데, 이것을 백분율로 표시하면 99.8%~99.9%의 살균 효과를 얻을 수 있었다.
3. UV 살균시스템을 일일 60,000m³의 하수를 처리하는 기존의 하수처리장에 도입할 경우 소요 면적이 7.64m²이면 처리가 가능하므로 부지의 절감과 약품주입으로 인한 2차오염을 방지할 수 있다고 생각된다.
4. 하수처리장 방류수를 UV를 이용하여 살균처리를 하면 대장균군이 검출되어서는 안되는 몇가지 용도를 제외하고는 중수도로써 이용이 가능할 것으로 생각된다.

이상과 같은 결론으로부터 제주 및 수영하수처리장 방류수를 자외선 조사방식으로 소독처리할 경우 중수도로 재이용이 가능할 것이며, 연안 해역의 수질보호에 크게 이바지 할 것으로 생각된다.

사 사

이 논문의 진행에 도움을 주신 다우환경(주)와 제주 및 수영하수종말처리장 직원 여러분께 깊은 감사를 표합니다.

참 고 문 헌

1. O.Karl Scheible., UV PILOT STUDIES AT THE LOTT WASTEWATER TREATMENT FACILITY., HydroQual Inc, 1991
2. 강용태, 하수도공학, 형설출판사, pp. 236-238, 1993
3. 건설부, 중수도 기술개발 방안연구, pp. 3-4. 142-162, 1994
4. Marvin DeVries., ULTRAVIOLET DISINFECTION OF WASTE WATER, TROJAN TECHNOLOGIES,INC CANADA
5. 서울시 탄천하수처리사업소, UV살균처리에 관한 타당성 조사보고서, 1993
6. 서울시 가양하수처리사업소, UV 살균처리에 관한 타당성 조사보고서, 1992
7. 이용두, 제주 식수 확보 방안과 중수도, 제주도연구회발표회, 1994
8. 高木誠, 福岡市における94年度の異常濁水と再生水利用下水道事業, 日本下水道協會誌., pp. 19~24, Vol.32 No.386, 1995
9. 酒井謙二, 紫外線による住宅團地下水處理施設排水の消毒, 日本下水道協會誌., p69~75, Vol.32 No.385, 1995