

하수 2차 처리수 재이용을 위한 저압 및 중압 고도산화시스템의 성능평가

Assessment of Advanced Oxidation Processes using Low and Medium-Pressure Lamps with H₂O₂ for Reclamation of Biologically Treated Wastewater Effluents

안규홍¹ · 안석^{1,*} · 맹승규¹ · 김기팔¹ · 홍준석¹ · 정민우² · 권지향¹ · Zubair Ahmed¹

Ahn, Kyu-Hong¹ · An, Seok^{1,*} · Maeng, Seung-Kyu¹ · Kim, Ki-Pal¹ · Hong, Joon-Seok¹
Jung, Min-Woo² · Kweon, Ji-Hyang¹ · Ahmed, Zubair¹

1 한국과학기술연구원 환경공정연구부

2 한국화학연구원

(2003년 5월 13일 접수, 2003년 7월 21일 최종수정논문 채택)

Abstract

In the present study, the feasibility of UV/H₂O₂ systems was investigated using low and medium-pressure lamps on biologically treated wastewater effluents for secondary effluent reclamation. Two types of UV lamps were used as the light sources (a 39-W low-pressure mercury lamp and a 350-W medium-pressure mercury lamp). The results from these UV systems showed that the removal of organic compounds could be achieved in the contact time of longer than 30min (i.e., low UV doses). Efficiencies of color removal and disinfection were far better than those of organic matters measured as TOC, DOC and TCOD_{cr}. In the low-pressure lamp UV system, it has been found that DOC and color removals were 60.9 and 86.2% with 50 mg/L of H₂O₂ and contact times of 30 minute, respectively. Whereas, with the medium-pressure lamp UV system, TOC, DOC and color removal were 27.1, 5.6 and 95% with 14.3mg/L of H₂O₂ and 14 minute of contact times, respectively. Both systems could be applied for the reclamation of secondary effluent treated with biological treatment processes.

Key words: advanced oxidation process (AOP), reclamation, photooxidation, secondary effluent, UV/H₂O₂

주제어: 재이용, 하수 2차 처리수, 중압 자외선, 저압 자외선, 과산화수소

1. 서론

전 세계적으로 수자원의 고갈 및 수요의 증가로 인

해 대체 수자원의 확보가 중요한 현안으로 대두되고 있다. 특히 우리나라의 경우 지역적, 계절적 제한으로 인해 안정적인 수자원 확보에 어려움이 있으며 이

*Corresponding author Tel: +82-2-958-6853, Fax: +82-2-958-6854, E-mail: san@kist.re.kr (An, S.)

에 정부에서는 하루 약 2,000만 톤이 생산되고 방류되는 하수처리장 2차 처리수(환경부, 2002) 2010년까지 10% 이상 재이용 하겠다는 방침을 발표한 바 있다(환경부, 2000). 따라서 앞으로 하수처리장에서 발생한 처리수를 재이용하기 위한 제도적인 지원 및 재이용 수요에 적합한 처리수를 안정적으로 생산할 수 있는 기술의 개발보급이 시급히 요구된다고 할 수 있다. 일반적인 하수처리장의 처리수는 원할한 처리 공정을 거칠 경우 방류수 수질기준에 부합하는 유기물 및 영양염류의 농도를 유지하게 되지만 여전히 하수취 및 색도 등이 잔류된 상태로 방류되게 된다. 이를 사용목적에 맞게 재처리하여 사용할 경우 사용자가 심미적인 불쾌감을 느낄 수 있다는 것이 처리수 재이용에 가장 큰 문제점이라고 할 수 있다. 따라서 시스템의 개발에 있어 잔류 유기물을 재이용 수질기준에 부합하도록 처리함과 아울러 색도 및 냄새 등의 안전한 처리에 초점을 맞추는 것이 중요하다. 본 연구에서는 자외선/과산화수소 공정을 이에 적용하고자 하였다. 자외선/과산화수소 공정은 국내외의 수처리 관련 여러 분야에서 연구 및 그 적용성이 검토되고 있는 시스템으로써 침출수나 산업폐수, 오염된 지하수 등의 처리에 적용사례가 많은 편이다(U.S EPA, 1998). 특히 과산화수소 자체의 우수한 탈색효과를 바탕으로 높은 색도를 유발하는 염색공단의 폐수처리에 대해 많이 연구되고 있다. 하지만 현재로서 자외선/과산화수소 공정이 하수 처리수의 재이용에 적용된 사례는 매우 드물다고 할 수 있다. 이와 관련하여 주목할 점은 2002년 5월에 환경부가 발표한 『하수처리장 소독시설 설치사업 업무처리일반기침』에 따라 2003년 1월부터 전국의 하수처리장의 방류수의 수질기준에 대장균군의 규제가 포함됨에 따라 2차 침전지 후단부에 설치가 용이한 UV 소독시스템이 과산화수소 주입이 배제된 단독 시스템으로 현장 적용이 권고되고 있으며 실제 설계중이거나 설치 가동 중인 하수처리장이 늘어나고 있다는 점이다. 이는 소독을 목적으로 설계되는 공정이므로 이러한 UV 소독시스템의 경우 색도 및 냄새의 근원적인 제거는 불가능한 것이 사실이다. 이에 본 연구에서는 유기물 제거능이 있으면서도 살균력 및 색도, 냄새 제거 등에 비교적 안정적인 시스템으로 인정받고 있는 자외선/과산화수소 시스템을 이용해 중수도 생산 공정에

의 적용성을 평가해 보고자 하였다.

2. 실험장치 및 방법

본 실험은 경기도 소재 K 하수처리장 2차 처리수를 대상으로 현장에서 수행되었으며, 2단계에 걸친 scale-up 과정을 통해 저압과 중압 램프를 각각 pilot-plant화 하여 개별적으로 운전하였다. 각각의 저압 및 중압 시스템은 UV 접촉조의 크기 및 운전 방식이 상이하여 저압 램프를 장착한 pilot plant의 1단계 운전이 선행되었으며, 도출된 결과를 참고하여 다과장의 특성을 지니는 중압 램프 pilot plant의 2단계 운전을 연속 수행하여 각각의 효율을 검증하였다. 적용된 램프의 소비전력 및 반응용적은 저압 및 중압 각각 39watts와 6liter 및 350watts와 1.66liter로 출력에 기준하여 한 254nm의 UV 밀도(UV density)는 각각 2.3watts/Liter 및 27.1watts/Liter로 10배 이상의 차이를 나타내었다.

각각의 시스템에 대한 모식도는 다음의 Fig. 1 및 Fig. 2와 같다.

저압 및 중압 시스템 모두 하수 2차 처리수가 반응기로 직접 유입되거나 여과시스템을 거쳐 유입되도록 선택적인 경로를 취하고 있으며, 대상수는 UV 접촉조를 거치기 전 과산화수소와 혼합되도록 설계되었다. 저압램프 시스템은 Philips사의 G36T6L 39W low pressure UV lamp를 사용하였으며, 접촉조는 램프 사이즈에 맞게 스틸(steel)로 자체 제작하여 설치하였다. 중압램프 시스템의 경우 Berson사(Netherlands)의 패키지 제품인 350W BersonInLine 20을 장착하여 시스템을 구성하였다. 각각의 시스템에 대한 사양비

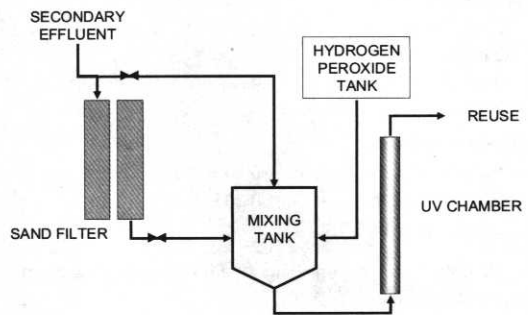


Fig. 1. Schematic diagram of low pressure UV/H₂O₂ system.

고는 다음의 Table 1에 정리하였다.

운전에 사용된 과산화수소는 덕산약품공업(주)의 28% 일급시약이며, 필요에 따라 현장에서 희석하여 사용하였다. 대상수 및 처리수의 잔류 과산화수소의 농도는 Merck사의 RQflex 2와 Peroxide test strip을 사용하여 처리 후 현장에서 바로 측정 하였다. 그 외 수질분석에 사용된 항목 및 방법들은 다음과 같다. COD_{cr}은 K₂Cr₂O₇ closed reflux에 의한 colorimetric method로 측정하였고, TOC(Total Organic Carbon) 및 DOC(Dissolved Organic Carbon)는 Shimadzu사의

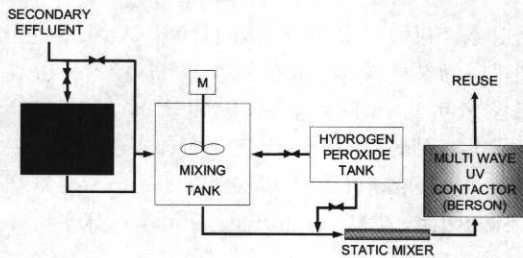


Fig. 2. Schematic diagram of medium pressure UV/H₂O₂ system.

Table 1. The specificity of UV/H₂O₂ system

Parameter	Low Pressure UV System	Medium Pressure UV System
Reactor		
Material	Steel	Steel
Volume (Liters)	6	1.66
Flow Type	Up Flow	Up Flow
Lamps		
Company	Philips	Berson
Model No.	G36T6L Lamp	InLine20 MW Lamp
Input Power (Watts)	39	350
Output Power (watts)	13.8	50*/40**
Length (mm)	842	100
Reservoir		
Material	Steel	PVC
Volume (Liters)	60	600
System Operation		
Initial H ₂ O ₂ Doses (ppm)	0-50	0-50
Contact Times (min)	0-30	0-14
Capacity Max. (m ³ /d)	1.44	4.78

*UV-C output: At the beginning of lamp life through a normal quartz sleeve.

**UV-C output: At the end of lamp life through a normal quartz sleeve.

TOC-VCPN Total Organic Carbon Analyzer를 사용하여 분석하였다. 색도는 대상수를 0.45µm pore size filter로 여과한 후 Pt-Co Method가 적용된 HACH사의 DR/2000 Spectrophotometer를 사용하여 측정하였으며, 대장균군의 측정은 평판 배지법(Standard plate count method)을 사용하였다. 탁도는 HACH사의 2100AN IS Turbidimeter로 분석하였다. 상기 제시된 모든 분석은 Standard Methods(APHA-AWWA-WEF, 20th edition, 1998)에 준하여 수행하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 저압 램프 시스템

다음의 Fig. 3은 과산화수소를 대상수의 COD_{cr} 농도에 대해 화학양론비(stoichiometric ratio)로 0배에서 1.5배 가량 각기 달리 주입하면서 처리한 후 변화된 색도 및 DOC 제거효율을 나타내고 있다. 적용된 초기 과산화수소의 주입배수는 기존의 실험결과(김, 1998; 안, 2002) 및 연구보고를 참고하여 대상수의 COD_{cr}값과 화학양론적으로 1배가 되는 양을 기준으로 가감하여 주입하였으며, 매 번 화학양론비를 환산하였다. 처리 전 대상수의 COD_{cr}값 및 기타 성상은 다음의 Table 2에 제시하였으며, 운전 시 접촉시간은 6분, 15분 및 30분을 적용하였다. 본 실험은 현장에서 수행되었으므로 운전 중 대상수의 성상은 저압 및 중압 시스템의 운전에서 각각 다르게 나타났다. 각각 하수 2차 처리수의 일반적인 성상에서 크게 벗어나지 않았으나, 저압 시스템 운전의 경우 중압 시스템 운전 시 대상수에 비해 색도가 다소 높은 반면, DOC는 약 3mg/L 정도 낮게 나타나고 있다.

운전 결과를 보면 기존의 생물학적 2차 처리수를

Table 2. Characteristics of secondary effluent in the operation with low-pressure system

Parameters	Units	Values
Turbidity	NTU	2.62-5.31
Color	Pt-Co	29-33
Total COD _{cr}	mg/L	13.3-16.0
DOC	mg/L	4.44-5.09
Total SS	mg/L	3.0-3.4
Coliforms	100mL ⁻¹	4.2 × 10 ⁴ -7.3 × 10 ⁴
pH	-	7.1-7.3

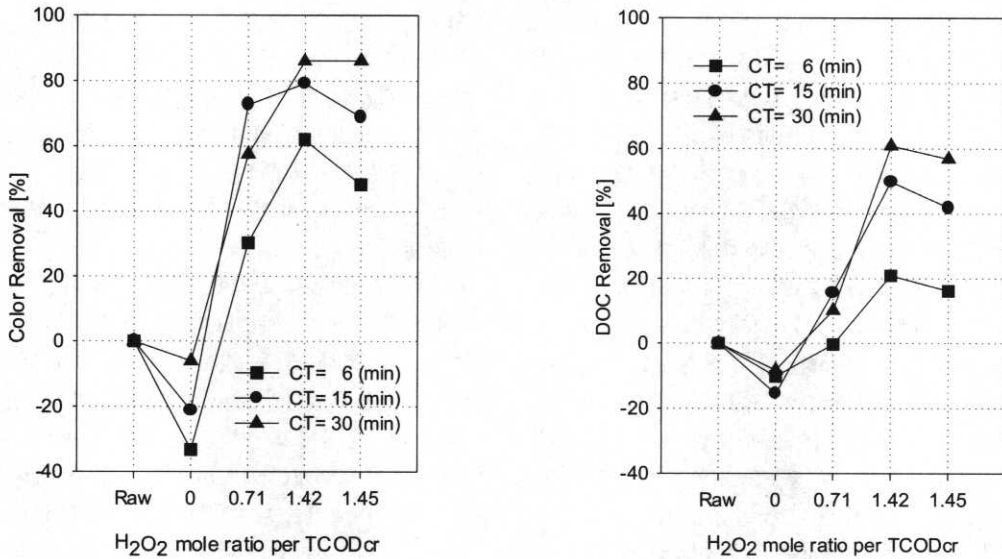


Fig. 3. Removal efficiency of Color and DOC at each H₂O₂ dosage and contact times.

대상으로 하였던 Wang(2001) 및 안(2002)의 실험결과와 유사하게 UV만 단독으로 조사하였을 경우 색도 및 용존성 유기탄소(DOC)의 양이 오히려 증가하는 경향을 나타내었다. 이는 UV 산화력이 약하거나 수중에 라디칼 생성이 없는 조건에서는 미생물 혹은 일부 미세입자들이 분해 되면서 용존성 유기물의 총량이 일시적으로 증가하는 결과라고 할 수 있다. 반면 과산화수소가 일정량 주입된 조건에서는 색도 및 DOC 모두 제거율이 증가하는 것을 확인할 수 있다. 하지만 1.42배(약 50mg/L) 이상을 주입할 경우 제거율이 동일하거나 오히려 떨어지는 것을 알 수 있는데 이는 기존에 알려진 것과 같이 과산화수소가 광분해 반응계에 필요 이상 과다 주입 될 경우 과산화수소 자체가 이미 생성된 OH 라디칼과 2차 반응을 일으켜 오히려 산화반응에 대한 scavenger로 작용하기 때문인 것으로 판단된다(김,1998). 또한 실험실에서 수행된 기초 실험 결과, 잔류 과산화수소 자체가 254nm 파장의 UV 투과도를 감소시킨다는 기존의 연구결과(Wang, 2001)를 재현한 바 적정 주입농도 이상 과다 주입하는 것은 효율적이지 못한 것으로 판단된다. 과산화수소의 적정 주입량이라고 판단되는 1.42배의 경우 대상수의 색도는 29 Pt-Co unit였으며, 접촉시간 6분, 15분, 30분에 따라 각각 11, 6 및 4 Pt-Co unit의 농도를 나타내었다. 이는 각각 대상수

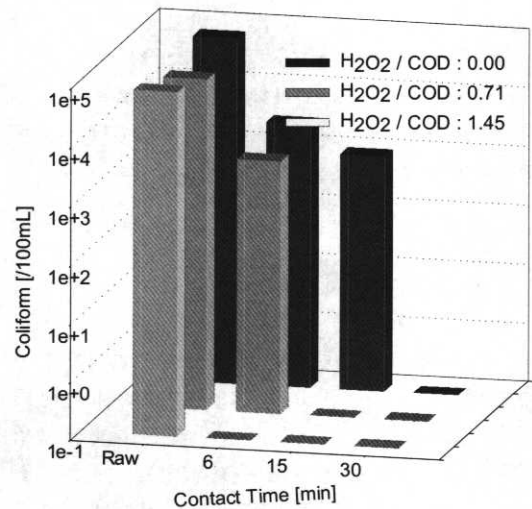


Fig. 4. Coliform reduction by the low pressure UV lamp/H₂O₂ system.

대비 62.1%, 79.3% 및 86.2%의 제거율로 나타나고 있다. 마찬가지로 1.42배의 경우 대상수의 DOC는 5.07mg/L였으며, 접촉시간 6분, 15분, 30분에 따라 각각 4.01, 2.54 및 1.98mg/L로 감소하였다. 제거율은 각각 20.9%, 49.9% 및 60.9% 이었다.

다음 Fig. 4는 과산화수소 0배, 0.71(약 25mg/L)배 그리고 1.45(약 50mg/L)배의 조건에서 각각 처리 시

간에 따른 대장균수의 변화를 나타내고 있다. 결과를 보면 과산화수소를 주입하지 않은 조건에서 100% 살균력을 확보하기 위해서는 15분 이상의 접촉시간이 필요함을 알 수 있다. 또한 0.71배의 과산화수소를 주입하였을 경우 6분 이상의 접촉시간이 필요하며, 1.45배의 과산화수소를 주입하였을 경우 6분 이내에 대장균이 모두 사멸하는 것으로 나타났다.

운전 결과 저압 램프를 이용한 UV/H₂O₂ 시스템(UV density=6.5W/L)에서 색도제거, 유기물(DOC) 제거 및 살균력은 접촉시간 및 과산화수소 주입량에 따라 각기 다른 적정 조건이 도출되었다. 본 시스템은 하수 2차 처리수의 재이용에 대한 적용성을 평가해 보는 것이 목적이므로 중수도 재이용 수질기준(수도법 시행규칙 제3조)에 의한 적정 처리율을 고려해 볼 때, UV만 단독 조사하는 경우 대장균 사멸을 위해서 비교적 긴 접촉시간(30분 이상)이 요구되며, 색도 및 유기물 제거에는 한계가 있는 것으로 나타났다. 반면 과산화수소의 주입 시 비교적 긴 접촉시간이 요구되거나 일정한 농도 감소를 확인 할 수 있었다. 0.71배(약 25mg/L)의 과산화수소를 주입하였을 경우는 15분 이상, 1.42배(약 50mg/L)의 과산화수소를 주입하였을 경우는 6분 내외의 접촉시간이 요구되는 것을 알 수 있었다.

3. 2. 중압 램프 시스템

254nm의 단파장을 방출하는 저압 UV/H₂O₂ 시스템의 운전 결과를 바탕으로 보다 짧은 접촉시간에 중수도 재이용의 적절한 요구 수질을 확보하기 위한 개선방향으로써 자외선 파장 범위가 넓은 다파장 중압 UV/H₂O₂ 시스템을 설치 및 운전하였다. 실험은 과산화수소 주입농도 및 접촉시간을 달리하여 유기물(TOC, DOC 및 TCOD_{cr}) 및 색도 제거효율을 분석

하였다. 중압 램프 시스템의 운전 기간 동안 대상수인 하수 2차 처리수의 성상은 다음의 Table 3과 같다.

다음의 Fig. 5는 본 중압 자외선 시스템의 적정 과산화수소 주입 농도를 알아보기 위한 실험 결과로써, 접촉시간 5분의 임의조건을 동일하게 적용하고 과산화수소 주입농도를 변화시킨 후 처리수의 수질을 분석한 결과이다.

유기물 제거효율을 분석한 결과, 잔류과산화수소 농도에 영향을 받지 않는 TOC 및 DOC의 경우 UV만 단독으로 조사하였을 경우만 제외하고는 과산화수소 주입량을 0.9배(약 52mg/L)까지 증가시켰을 경우 제거율도 동시에 증가하였다. 반면 COD의 경우 과산화수소를 0.25배(약 14.3mg/L) 주입하였을 경우엔 15.4%의 제거율을 나타내었으나, 0.56배(약 32.0mg/L)를 주입하였을 때에는 잔류 과산화수소량이 증가하면서 오히려 COD가 증가하는 결과를 나타내었다. 이는 반응조건에서 과산화수소가 주입되면 일정한 잔류량이 발생하고 COD 분석 시 interference로 작용하기 때문이다(Talinli, 1992; 조, 1997). 따라서 과량의 과산화수소가 주입될 때 효율이 다소 증가한다 하더라도 일정량 이상 과다 잔류하게 되면 COD값이 증가하기 때문에 시스템에 따라 최적의 과산화수소 농도를 선정하는 것이 중요하다.

그럼에도 불구하고 이러한 잔류과산화수소에 의한 COD 증가현상은 일정한 경향을 보이지 않아 0.9배를 주입하였을 시 처리수의 COD값이 원수와 비교해 증감이 없는 것으로 나타났는데 이는 과산화수소가 COD 측정의 interference로 작용하는 경향성이 100mg/L 이하의 과산화수소 조건에서는 그다지 일관된 경향성을 나타내지 않기 때문인 것으로 판단된다(Talinli, 1992). 따라서 연계된 접촉시간 변화 실험에서는 과량주입에 의한 COD 증가현상을 보이지 않았던 최저농도인 0.25배(약 14.3mg/L)의 조건으로 실험을 수행하였다. 0.25배(약 14.3mg/L)의 경우 TOC, DOC 및 TCOD_{cr}은 9.2mg/L, 7.48mg/L 및 22mg/L였으며, 각각 0.8%, 2.8% 및 15.4%의 제거율을 나타내었다. 0.56배(약 32.0mg/L)의 경우 TOC, DOC 및 TCOD_{cr}은 7.5mg/L, 6.27mg/L 및 28mg/L였으며, 각각 19.4%, 18.4% 및 -7.7%의 제거율을 나타내었다. 0.90배(약 52.0mg/L)의 경우

Table 3. Characteristics of secondary effluent in the operation with medium-pressure system

Parameters	Units	Values
Turbidity	NTU	2.1-2.6
Color	Pt-Co	20-25
Total COD _{cr}	mg/L	25-26
TOC	mg/L	9.3-9.6
DOC	mg/L	7.20-7.69
Coliforms	100mL ⁻¹	5.2 × 10 ⁴ -5.4 × 10 ⁴

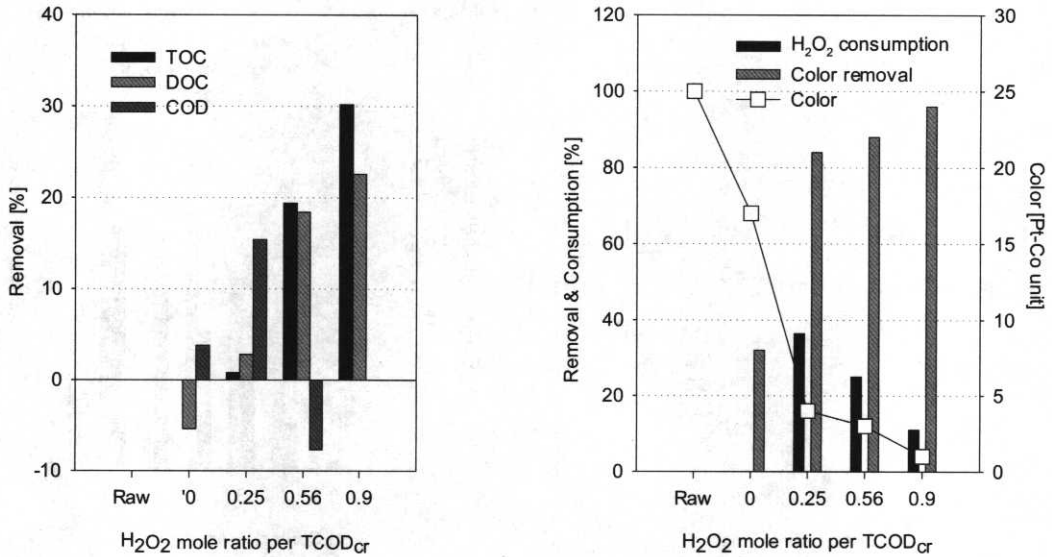


Fig. 5. Removal efficiency of organic compound and color at 5 minutes contact times.

TOC, DOC 및 TCOD_{Cr}은 6.5mg/L, 5.95mg/L 및 26mg/L였으며, 각각 30.2%, 22.6% 및 0%의 제거율을 나타내었다. 색도의 경우, 과산화수소 주입량이 증가함에 따라 처리효율도 증가하였으나, 0.25배(약 14.3mg/L) 이상 주입하여도 제거효율에 큰 차이는 보이지 않았다. 과산화수소 0.90배(약 52.0mg/L) 주입 시 처리수의 색도가 1 Pt-Co unit로 96%의 높은 제거효율을 나타내고 있다. 하지만 과산화수소 분해율에서 알 수 있듯이 주입되어 산화반응에 참여한 과산화수소의 총량은 증가하여도 분해율이 농도를 높일수록 낮아지기 때문에 과도한 과산화수소의 주입은 불필요하리라 판단된다. 이는 COD값의 증가현상과 함께 적정 과산화수소 주입량이 요구되는 중요한 이유라고 할 수 있다. 0.00배, 0.25배, 0.56배 및 0.90배로 과산화수소 주입량이 증가함에 따라 잔류 과산화수소는 0mg/L, 9.1mg/L, 24.0mg/L 및 46.3mg/L로 증가하였으며, 각각 0.0%, 36.4%, 25.0% 및 11.0%의 분해율을 나타내었다.

다음의 Fig. 6은 0.25배(약 14.3mg/L)로 초기 과산화수소 주입 농도를 고정시키고 접촉시간에 따른 TOC, DOC, TOC_{Cr} 및 색도 제거효율을 알아본 결과이다.

DOC 및 TCOD_{Cr}의 경우 5분 이하의 짧은 접촉시간에서는 농도가 다소 증가하는 경향을 나타내고 있

다. 반면 TOC 및 색도는 5분 이하에서도 감소 경향을 나타내고 있다. 특히 색도의 경우 3분의 접촉시간에서 이미 10 Pt-Co unit로 50%의 제거율을 보이고 있으며, 14분의 접촉시간에서는 1 Pt-Co unit로 95%의 높은 제거율을 나타내었다. 과산화수소의 분해율은 초기 주입량을 비교적 저농도로 고정하였으므로 시간에 따라 증가하고 있으나 10분이 경과하면 62%의 분해율에서 그리 큰 폭으로 증가하지 않음을 알 수 있다. 5분, 10분 및 14분의 접촉시간에서 TOC는 8.9mg/L, 7.0mg/L 및 7.0mg/L로 각각 7.3%, 26.0% 및 27.1%의 제거율을 나타내었으며, DOC의 경우 7.2mg/L, 7.1mg/L 및 6.8mg/L로 각각 0.0%, 1.4% 및 5.6%의 제거율을 나타내었다. TCOD_{Cr}의 경우 22mg/L, 20mg/L 및 19mg/L로 각각 12%, 20% 및 24%의 제거율을 나타내었다.

다음 Fig. 7은 과산화수소 0배와 0.26배의 조건에서 각각 처리 시간에 따른 대장균수의 변화를 나타내고 있다. 결과를 보면 과산화수소를 주입하지 않은 조건에서 30초 접촉시간에 이미 100% 살균력이 확보되고 있음을 알 수 있다. 저압램프 시스템의 경우 과산화수소를 주입하지 않았을 때 100% 대장균을 사멸시키기 위해서는 15분 이상의 접촉시간이 필요한 것과 비교하면 매우 짧은 접촉시간에 안정적인 살균력이 확보됨을 알 수 있다.

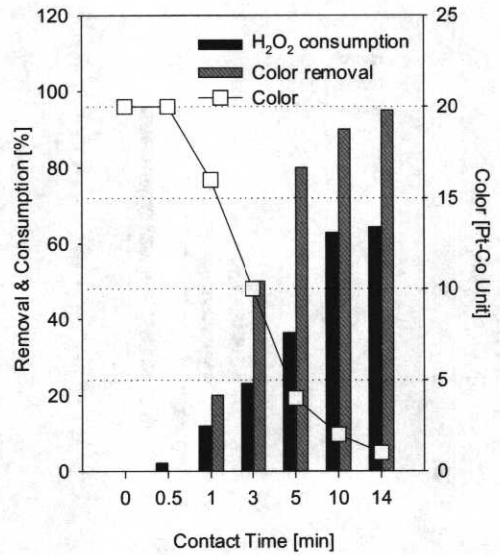
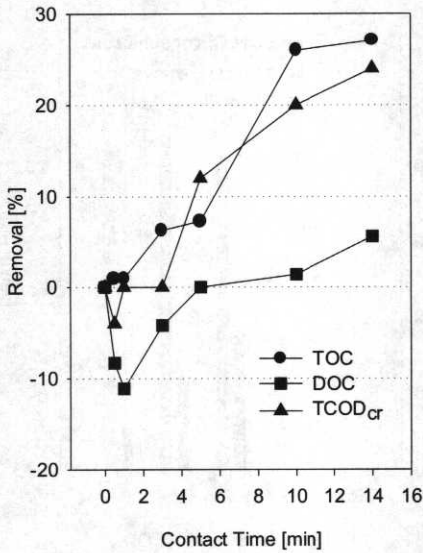


Fig. 6. Removal efficiency of organic compound and color at 14.3 mg/L H₂O₂ doses.

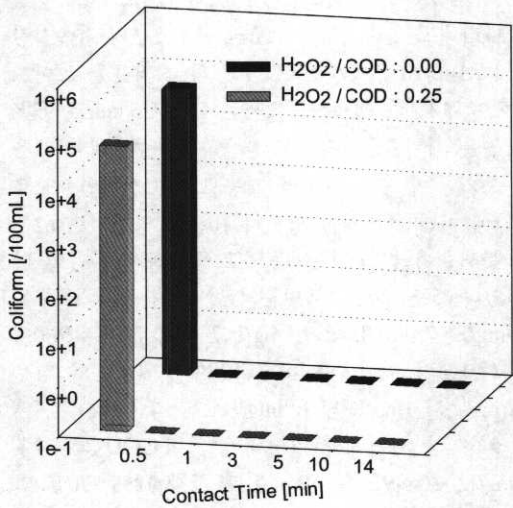


Fig. 7. Coliforms reduction by the medium pressure UV/H₂O₂ system.

선행된 중압램프 시스템의 운전을 통해 접촉시간 및 초기 과산화수소 주입량에 대한 최적인자를 고찰해 보았다. 고찰한 결과, 시스템의 scale에 따라 효율의 차이가 있을 수 있으므로 동일한 비교는 불가능하나 저압램프 시스템에 비해 출력을 기준으로 한 UV density는 약 10배 가량 높은 반면 유기물(TOC, DOC 및 COD) 제거효율을 그다지 큰 차이를 보이

지 않는 것으로 확인되었다. 반면 색도 제거 및 살균력에 있어서는 저압 시스템에 비해 우수한 효율이 확보됨을 확인할 수 있었다.

4. 결론

하수처리장 2차 처리수를 대상으로 저압과 중압 램프를 각각 pilot-plant화 하여 개별적으로 운전하였다. 운전한 결과, 적용된 시스템으로는 저압 및 중압 시스템 모두 짧은 처리시간에 유기물의 근원적인 산화 및 제거에는 한계가 있는 것으로 나타났다. 저압 시스템의 경우 0.71배(21mg/L)의 과산화수소를 주입하고 30분 이상 UV를 조사했을 경우 20% 정도의 DOC 제거율을 나타냈으며, 1배 이상 과량의 과산화수소 주입 시에는 30분 이상 UV를 조사할 경우 50% 내외의 제거율을 얻었다. 중압 시스템의 경우 잔류 과산화수소에 의한 COD 증가의 영향이 적은 0.25배(약 14.3mg/L)의 과산화수소 주입 시 5분 이상 14분 이하의 접촉시간에서 10%에서 30% 정도의 TOC 및 COD_{Cr}의 제거효율을 확인할 수 있었다. 반면 색도 제거 및 살균력은 비교적 우수한 것으로 확인되었으며, 특히 중압 시스템의 경우 0.25배(약 14.3mg/L)의 과산화수소 주입 시 짧은 접촉시간인 3분 이내에 50%의 색도 제거율을 나타내었으며, 10분의 접촉시간에

서는 90% 이상의 제거율을 나타내었다. 대장균균을 기준으로 한 살균력에 있어서 중압 시스템의 경우 UV만 단독 조사한 경우에도 수초 안에 완전히 살균이 되어 소독효과가 매우 우수함을 확인할 수 있었다.

하지만 중압 시스템의 경우 적용된 운전 조건과 같이 단일 접촉조로 5분의 접촉시간을 유지할 경우 약 1ton/day의 소규모 처리만 가능하기 때문에 단일 접촉조로는 현장 적용에 적합하지 않다. 따라서 현장에 적용하기 위한 시스템으로 개발하기 위해서는 반응조를 직렬 연결하거나 램프의 개수를 늘리는 scale up 작업을 통해 보다 많은 처리용량을 확보해야 할 것으로 판단된다. 또한 추후 지속적인 연구를 통해 저압 램프 시스템 및 오존 처리 등의 기타 고도산화공정과 의 경제성 평가가 아울러 수행되어야 할 것으로 사료된다.

사사

본 연구는 광주과학기술원(K-JIST)의 물재이용센터(WRTC)를 통한 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비 지원(과제번호 4-1-5)에 의해 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

참고문헌

김수명, 고경숙(1998) H₂O₂/UV를 이용한 침출수 속의 생물학적 난분해성 유기 오염물의 산화적 분해, *대한환경공학회*, **20**(10), pp. 1425-1434.
안규홍, 이석현, 안석, 김기팔, 정민우, 맹승규(2002) 자외

선/과산화수소 고도산화공정에 의한 하수 2차 처리수 중의 용존유기물 분해에 미치는 부유물질과 과산화수소 농도의 영향, *상하수도학회*, **16**(3), pp. 333-340.
조민정, 강윤환, 황경엽(1997) COD 분석에 미치는 펜톤시약의 영향에 관한 연구, *대한환경공학회 추계학술연구발표회* 논문 초록집, pp. 620-623.
환경부(2000) 물질약 종합대책.
환경부(2002) 하수종말처리시설 가동현황.
환경부(2002) 하수처리장 소독시설 설치사업 업무처리일반지침, 환경부 하수 67712-466.
American Public Health Association, American Water Works Association and Water Environmental Federation (1998) *Standard Method for the examination of water and wastewater*, 20th Ed., Washington, D. C.
Talinli, I. and Anderson, G. K. (1992) Interference of hydrogen peroxide on the standard COD test, *Wat. Res.* **26**(1), pp. 107-110.
Tchobanoglous, G., Emerick, R., Loge, F., and Darby, J. (1999) Recent development in ultraviolet (UV) disinfection, *US EPA 6th National Drinking Water and Wastewater Treatment Technology Transfer Workshop*, Kansas, USA.
U.S. EPA (1998) *Handbook on advanced photochemical oxidation processes*, Office of Research and Development, EPA/625/R-98/004.
Wang, G., Hsieh, S., and Hong, C. (2000) Destruction of humic acid in water by UV light — catalyzed oxidation with hydrogen peroxide, *Wat. Res.*, **34**(15), pp. 3882-3887.
Wang, G., Chen, H., and Kang, S. (2001) Catalyzed UV oxidation of organic pollutants in biologically treated wastewater effluents, *The Science of the Total Environment*, **277**, pp. 87-94.
Wang, G., Liao, C., and Wu, F. (2001) Photodegradation of humic acids in the presence of hydrogen peroxide, *Chemosphere*, **42**, pp. 379-387.