

전기분해와 UV 조사에 의한 수중 Rhodamine B의 제거(Ⅱ)

김동석 · 박영식*

대구가톨릭대학교 환경과학과, *대구대학교 보건환경전공

(2009년 3월 23일 접수; 2009년 4월 9일 수정; 2009년 5월 20일 채택)

Removal of Rhodamine B in Water by Ultraviolet Radiation Combined with Electrolysis(Ⅱ)

Dong-Seog Kim and Young-Seek Park*

Department of Environmental Science, Catholic University of Daegu, Gyeongbuk 712-702, Korea

*Department of Health & Environment, Daegu University, Gyeongbuk 712-830, Korea

(Manuscript received 23 March, 2009; revised 9 April, 2009; accepted 20 May, 2009)

Abstract

This study has carried out to evaluate the effect of NaCl as electrolyte of single (electrolysis and UV process) and complex (electrolysis/UV) processes for the purpose of removal and mineralization of Rhodamine B (RhB) dye in water. It also evaluated the synergistic effect on the combination of electrolysis and UV process. The experimental results showed that RhB removal of UV process was decreased with increase of NaCl, while RhB removal of electrolysis and electrolysis/UV process was increased with increase of NaCl. The decolorization rate of the RhB solution in every process was more rapid than the mineralization rate identified by COD removal. The latter took longer time for further oxidation. Absorption spectra of an aqueous solution containing RhB showed a continued diminution of the RhB concentration in the bulk solution: concomitantly, no new absorption peaks appeared. This confirmed the decolorization of RhB, i.e., the breakup of the chromophores. It was observed that RhB removal in electrolysis/UV process is similar to the sum of the UV and electrolysis. However, it was found that the COD of RhB could be degraded more efficiently by the electrolysis/UV process than the sum of the two individual process. A synergistic effect was demonstrated in electrolysis/UV process.

Key Words : Electrolysis/UV process, Absorption spectra, Dye, COD, NaCl

1. 서 론

염색폐수는 일반적으로 강한 색도, 다량의 부유물질, 변동이 심한 pH, 높은 온도, 높은 유기물질 농도를 함유하고 있어 처리가 쉽지 않은 특징을 가지고 있다. 따라서 활성슬러지 공정과 같은 생물학적

처리방법, 응집 · 침전, 활성탄 흡착, 막분리 법 등의 물리 · 화학적 처리방법들을 조합한 처리방법 등이 있으나 이를 방법으로는 색도 유발물질 및 난분해성 유기물질들을 완전히 처리할 수 없다는 문제점이 있다^{1,2)}.

이러한 기존 처리공정의 한계를 극복하기 위한 방법으로 오존, H₂O₂, NaOCl과 같은 강한 산화제를 이용하여 색도 유발물질 및 난분해성 유기물질을 CO₂와 물로 완전 산화시키는 화학적 산화방법이 있

Corresponding Author : Young-Seek Park, Department of Health & Environment, Daegu University, Gyeongbuk 712-830, Korea
Phone: +82-53-650-8043
E-mail: ysparkk@daegu.ac.kr

으나, 단순한 산화방법으로는 오염물질을 완벽하게 처리하기에는 한계점이 있으며, 비용이 많이 소요되는 단점이 있다^{3,4)}.

기존 산화제의 성능이 낮아 산화 성능을 높이기 위하여 고급산화 공정(AOPs, advanced oxidation processes)을 이용한 염색폐수와 같은 난분해성 폐수 처리에 많은 관심과 연구가 진행되고 있다. 고급산화 공정은 오염물질을 처리하기 위하여 오존, 과산화수소와 같은 산화제 및 광촉매, UV를 결합하여 다른 산화제보다 산화력이 훨씬 강한 OH 라디칼을 생성시켜 오염물질을 산화시키는 방법으로 많은 난분해성 유기오염물질 처리의 대안적인 방법으로 고려되고 있다. 고급산화 공정은 유기물질을 완전히 분해할 수 있을 뿐만 아니라 슬러지 발생 등 2차 오염물질의 발생이 거의 없고, 생성되는 미량의 무기·유기 물질들도 기존의 처리방법으로 쉽게 처리할 수 있어 간단한 처리 공정을 거친 후 공정수나 공업용수 등으로 재이용 가능한 장점을 가지고 있다^{5,6)}.

최근에는 전극을 이용하는 전기화학적 수처리가 염료, 침출수 등의 난분해성 유기물질과 폐늘, 시안 등의 유해물질이 함유된 폐수 등 많은 종류의 폐수에 대한 처리 가능성이 연구되었다⁷⁾. 전기화학적 공정은 종래 공정과는 다른 다음의 장점이 있다. 1) 다양성: 전기용-집(electrocoagulation)과 전기부상(electroflootation) 공정은 물론 직접과 간접 유기화합물 산화, 금속 환원, 전기 석출(electro-deposition) 공정에 의한 액상과 고상 폐기물 처리에 이용될 수 있다. 2) 자동화: 전류와 전위는 쉽게 제어할 수 있어 처리 공정의 자동화가 용이하다. 3) 환경 친화성: 전기화학적 공정은 전극 표면의 전자 교환에 의해 처리하는 공정으로 다른 화학물질의 첨가가 필요하지 않은 친환경적 공정이다^{8,9)}.

불용성 전극을 이용한 수처리는 양극 표면에서 전자의 이동에 의해 발생하는 OH 라디칼에 의한 오염물들이 파괴되는 직접 산화와 OH 라디칼 생성량은 적지만 산소가 발생되는 전위 전후에서 발생하는, 하이드로퍼 옥시칼 ($\text{HOO} \cdot$), 과산화수소 (H_2O_2) 및 오존 (O_3) 등의 산화물질에 의한 간접 산화에 의해 오염물질을 처리한다^{10,11)}.

대부분의 불용성 전극은 산화제가 발생하기 때문에 직접 산화와 간접 산화가 동시에 이루어지지만

전극에 따라 주요 분해 메커니즘이 직접 산화인 직접 산화 전극과 산화제에 의한 간접 산화 전극으로 나눌 수 있으며 직접 산화전극으로는 PbO_2 전극, 봉소-도핑 다이아몬드(BDD, boron doped diamond) 전극 등을 들 수 있다. PbO_2 전극은 유기물 산화성능은 우수하지만 전극으로부터 Pb가 침출(leaching)될 우려가 있으므로 실용성이 떨어지며, BDD전극은 전극 가격이 비싸 실용화가 아직 이루어지지 힘든 것으로 보고 되고 있다¹²⁾. 간접 산화용 전극으로는 Ir, Ru 등을 산화시킨 금속산화물 전극인 RuO_2 , IrO_2 등의 전극이 1960년대부터 클로로칼키 공정 등에 많이 이용되어 왔었다. 간접 산화에 의한 단점은 양극에서 산화력이 높은 OH 라디칼 농도 생성량이 낮아 완전 무기질화를 얻기 어렵다는 것이다^{13,14)}.

본 연구진들은 OH 라디칼 생성농도가 낮은 간접 산화용 DSA 전극을 이용한 전기 분해 반응에 UV 공정을 적용한 전기/UV 공정을 이용할 경우 전기분해에서 발생하는 O_3 와 H_2O_2 를 이용하여 $\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2$, $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ 및 O_3/UV 공정 등 전형적인 OH 라디칼 발생 고급산화 공정을 이를 수 있어 전해질 무첨가 전기/UV 공정에서 공정의 시너지 효과가 나타난다고 보고하였다¹⁵⁾.

본 연구에서는 무기 음이온들이 많이 존재하는 염색폐수와 같은 산업폐수의 특성을 이용하여¹⁶⁾ 전해질로 NaCl 을 전해질 첨가 전기/UV 공정에서 NaClO 이 단일 공정(전기, UV 공정) 및 복합 공정(전기/UV)에 미치는 영향을 고찰하고 복합 공정에서의 RhB 색도와 COD 처리에 대한 성능을 평가하여 전기/UV 공정의 적용가능성을 고찰하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 실험재료

분해대상 물질은 양이온성 염료인 Rhodamine B(RhB)를 사용하였다. 실험에 사용한 반응기는 회분식으로 제작하였으며 양극과 음극으로는 63 x 115 mm 크기의 메시형 Ru-Sn-Sb/Ti 전극을 사용하였다. 반응기의 부피는 1 L이며, 반응기 내에서의 교반을 위하여 에어펌프를 사용하여 2 L/min의 공기를 주입하였다(Fig. 1). RuCl_3 hydrate 2 g을 기준으로 $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 와 Sb_2O_3 를 mol비로 10:80:10으로 비율을 맞춘 후 농염산(35%) 용액과 2-propanol을

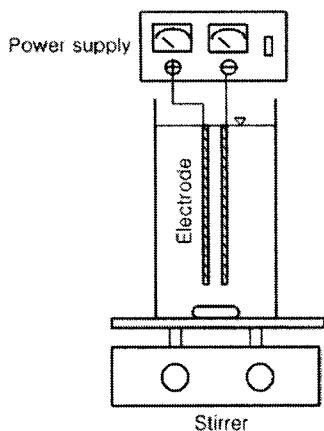


Fig. 1. Schematic diagram of electrochemical reactor.

1:1로 혼합한 용액 100 mL에 넣고 혼합하였다. 붓으로 코팅액을 Ti 메시에 도포한 후 80°C로 유지되는 건조기에서 30분 동안 건조시키고, 450°C로 유지되는 전기로에서 5분 동안 소성시킨 뒤 상온으로 냉각시켰다. 이 과정을 20회 반복하고 최종적으로 450°C로 유지되는 전기로에서 1시간동안 소성시켜 전극을 제조하였다. UV 램프는 10 W 오존 램프(중심파장 254 nm의 오존 발생 파장인 185 nm의 파장도 발생)를 실험조건에 따라 1-3개 사용하였고 직류 전원 공급기 (Hyunsung E&E, 50 V 20 A)를 이용하여 전극에 전원을 공급하였다. 실험에 사용한 오존 램프는 UV-A, B, C 및 가시광선 영역의 파장이 발생하고 있으며, 오존을 발생시키는 185 nm 파장도 254 nm의 파장(100%)에 대해 17-18% 정도의 출력을 나타내고 있고 공기 중에서 3 g/h의 오존을 생성시키는 것으로 알려져 있다¹⁷⁾.

2.2. 분석 및 측정

RhB의 농도는 UV-VIS spectrophotometer (Genesis 5, Spectronic)를 사용하여 RhB의 최대 흡수파장인 554 nm를 측정하여 검량선을 사용하여 농도로 나타내었다. COD_{cr} 분석은 Standard methods¹⁸⁾에 준하여 수행하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. UV, 전기분해 및 전기/UV 공정에서 NaCl의 영향

염색폐수와 같은 산업폐수에는 Cl⁻, SO₄²⁻ 및 PO₄³⁻

등과 같은 무기 음이온들이 많이 존재하는데, 이들이 이온의 영향은 전기분해 반응에서 중요한 요소이다. 특히 염색폐수에 다량 함유된 Cl⁻ 이온은 전해질로 작용할 뿐만 아니라 이산화염소와 유리염소와 같은 산화제를 발생시켜 전극에서 발생하는 산화제에 의한 간접 산화(indirect oxidation)에서 중요한 역할을 담당하고 있는 것으로 알려져 있다¹⁹⁾. 앞의 실험에서 UV 전력이 10 W에서 30 W로 증가함에 따라 RhB 탈색 속도가 증가하였고, 살균에 주로 사용되는 UV-C 램프보다 오존 램프의 RhB 탈색속도가 훨씬 높은 것으로 나타나 본 실험에서는 30 W의 오존 램프를 전기/UV 공정의 UV 램프로 선정하여 사용하였다¹⁵⁾.

Fig. 2에 오존 램프 전력을 30 W로 유지한 상태에서 전해질로 NaCl을 선택하여 NaCl 농도를 0-1 g/L로 변화시키면서 NaCl이 RhB 색도 제거에 미치는 영향을 고찰하였다. NaCl 농도가 증가하면서 RhB 분해효율이 감소하는 것으로 나타났다. Abdullah 등²⁰⁾은 Cl⁻이 아래와 같이 광산화 반응시 산화 라디칼 종을 포집(scavenging)함으로서 산화속도를 감소시키며, 촉매 표면의 활성점자를 막아서 촉매활성을 저해하는 것으로 보고한 결과와 비교할 때 오존 램프도 UV-C 램프와 같이 같은 원인으로 RhB 분해효율이 다소 감소한다고 사료되었다.



Fig. 3은 전기분해 반응에서 0.5 A의 전류를 인가

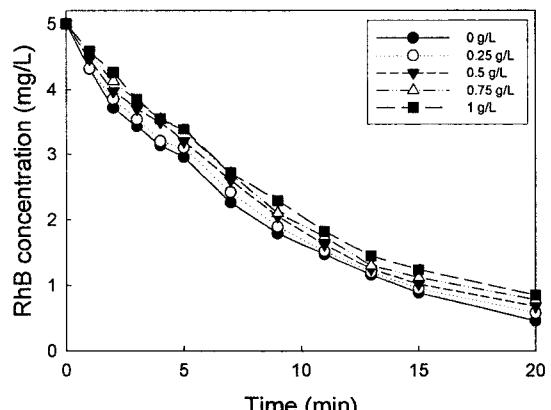


Fig. 2. Effect of electrolyte on RhB concentration in the UV process(Electrolyte, NaCl; Lamp power 30 W; Air supply, 2 L/min).

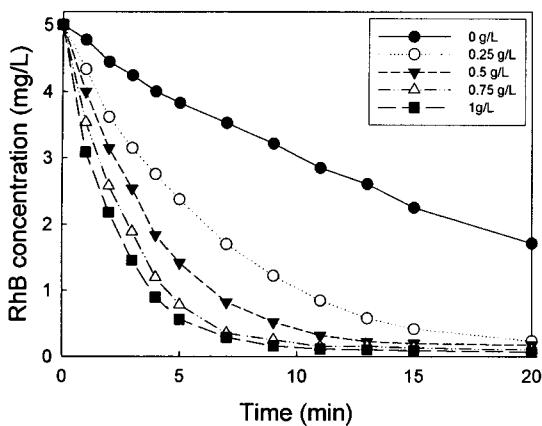


Fig. 3. Effect of NaCl dosage on RhB concentration in electrolysis/UV process (Lamp power, 30 W; Air supply, 2 L/min, Current, 0.5 A).

한 조건에서 NaCl이 RhB 분해에 미치는 영향을 나타내었다. NaCl이 첨가되지 않은 경우의 RhB 농도 변화와 첨가된 경우의 RhB 농도변화를 고찰한 결과 0.25 g/L만 첨가되어도 초기 반응속도와 반응 종결농도가 크게 차이나 전기분해 반응에서 NaCl의 영향이 매우 큰 것을 알 수 있었다. Ir/Ti, Ru/Ti 및 Pt/Ti 전극을 이용한 산화제 생성에서 생성된 산화제 중 첨가된 NaCl 농도와 직접 관련이 있는 유리 염소와 이산화염소의 생성농도가 NaCl 농도 증가에 따라 증가되었고, 과산화수소와 오존은 NaCl 첨가량과는 관계없지만 NaCl 첨가로 인해 높아진 전기전도도 때문에 전류의 흐름이 원활하여 물의 전기분해가 활발하게 일어나 과산화수소나 오존의 생성량이 증가되었다고 보고한 박 등²¹⁾의 연구와 비교할 때 NaCl 첨가량 증가에 따라 산화제 농도 증가가 RhB 분해에 큰 영향을 미치는 것으로 사료되었다.

NaCl 첨가량이 증가할수록 초기 반응속도가 증가하고 20분의 반응 후 최종 농도도 감소하는 것으로 나타났으나 1 g/L에서는 효과가 크지 않아 최적 NaCl 농도는 0.75 g/L인 것으로 판단되었다. 이와 같은 결과는 stainless steel 전극을 이용한 1,2-dichloroethane (DCA) 제거에서 최적 NaCl 농도 이상에서는 제거율이 일정하였다는 Bejankiwar 등²²⁾의 연구 및 Ru-Sn-Ti/Ti 전극을 이용한 RhB 제거에서 최적 NaCl 농도는 다르지만 최적 NaCl 첨가량이 나타난다고 보고한 김 등²³⁾의 결과와 같이 일반적인 전기

분해 반응에서 관찰되는 결과를 얻었다.

Fig. 4에 전류를 0.5 A로 유지하면서 전기분해와 오존 램프를 결합한 전기/UV 반응에서 전해질인 NaCl이 RhB 농도 변화에 미치는 영향을 나타내었다. NaCl 농도가 0.25 g/L까지 RhB 분해속도가 증가하였으며 0.5 g/L 이상의 NaCl 농도에서는 RhB 분해속도가 거의 증가하지 않는 것으로 나타나 전기/UV 공정에서 최적 NaCl 농도는 0.25 g/L로 판단되었다. Fig. 3의 전기분해 공정에서는 최적 NaCl 농도가 0.75 g/L이었으나 전기/UV 공정에서는 0.25 g/L로 나타나 두 공정에서 최적 NaCl 농도는 다른 것으로 나타났다. 전해질인 NaCl이 없어도 전기분해와 UV 공정을 결합한 공정의 RhB 농도변화는 큰 것으로 나타났다(Fig. 4의 0 g/L). NaCl 농도를 0~1 g/L로 변화시켰을 때 NaCl이 전기/UV 복합 공정에 미치는 영향은 Fig. 3에서의 전기분해 단독 공정에서의 영향보다는 적은 것으로 나타났다. 이것은 전기분해 반응에서 NaCl이 초기 반응속도를 증가시키고 반응 종결농도를 줄이는 역할을 하지만 오존 램프를 이용한 UV 공정에서는 반응속도를 줄이는 역할을 하고 공정의 복합으로 인해 반응속도가 빨라져 영향이 감소한 것으로 사료되었다.

3.2. 단일 공정과 복합 공정의 색도와 COD 제거 비교

전기/UV 공정에서 0.5 A를 기준으로 전기분해

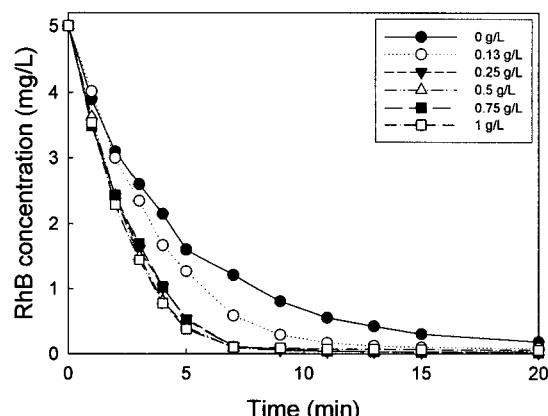


Fig. 4. Effect of electrolyte on RhB concentration in the electrolysis/UV process (Electrolyte, NaCl; Current, 0.5 A; Lamp power, 30 W; Air supply, 2 L/min).

(0.5 A)와 UV(30 W)의 단일 공정에서 RhB 제거량을 합하여 전기/UV 공정의 RhB 제거량을 비교하여 Fig. 5에 나타내었다.(계산상 전기분해와 UV의 단일 공정의 RhB 분해 농도 합이 초기 농도인 5 mg/L보다 높은 경우는 5 mg/L로 표현하였다.) 그림에서 보듯이 4분까지는 전기/UV 복합 공정의 RhB 분해가 단일 공정의 RhB 분해농도 합보다 약간 높았으나 그 차이는 작았고 5분 이후부터는 단일 공정의 합이 높은 것으로 나타나 단일 공정의 결합으로 인한 시너지 효과는 관찰되지 않았다. 이는 UV 공정이 NaCl에 의해 RhB 분해율이 방해를 받아도 전기분해 공정에서 NaCl 첨가로 인한 RhB 분해율이 크게 증가하고 RhB의 색이 빠르게 제거되기 때문에 단일 공정에서도 제거율이 높아 단일 공정의 RhB 제거율 합이 높게 나타나 복합 공정의 시너지 효과가 없는 것으로 사료되었다. 이는 전해질이 첨가되지 않은 앞의 연구결과에서도 비슷한 결과를 얻었다¹⁵⁾.

Fig. 4의 전기/UV 공정에서 최적 NaCl 조건인 0.25 g/L에서 단일 공정과 전기/UV 복합 공정에서 RhB의 COD 농도 변화를 Fig. 6(a), 두 단일 공정의 제거 COD 농도의 합과 복합 공정의 제거 COD 농도를 Fig. 6(b)에 나타내었다. 90분의 반응시간동안 오존 등에 의한 COD 제거율은 9.5%, 전기분해의 COD 제거율은 57.4%로 나타났으나 전기/UV 공정에서는 94.1%로 나타나 복합 공정의 COD 제거율이 높은

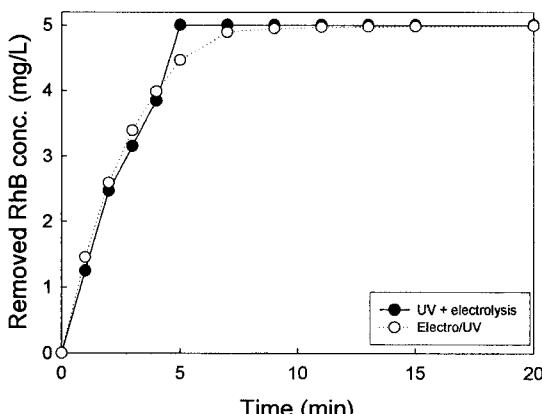


Fig. 5. Comparison of removed RhB concentration between UV+electrolysis and Electrolysis/UV process(Lamp power 30 W; Air supply, 2 L/min; Current, 0.5 A).

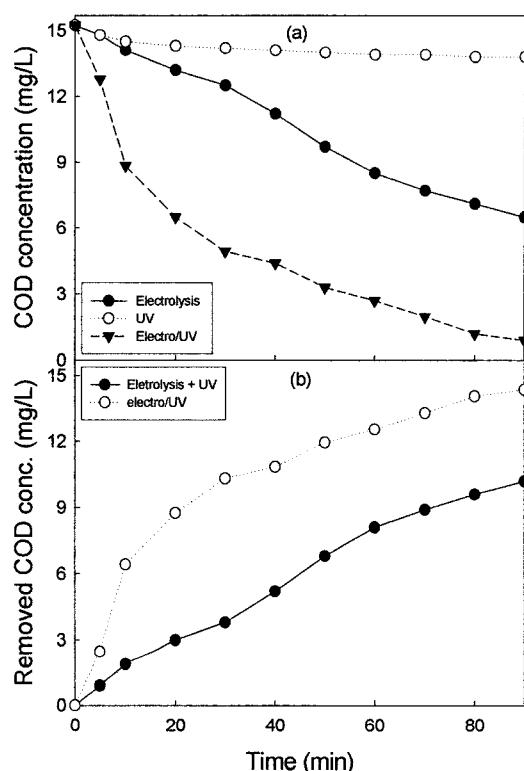


Fig. 6. Comparison of single and electrolysis/UV process for the COD concentration(a) and removed COD(b)(Lamp power 30 W; Air supply, 2 L/min; Current, 0.5 A; NaCl conc., 0.25 g/L).

것으로 나타났다. Fig. 2와 Fig. 6 (a)를 비교해 볼 때 오존 램프의 색도 제거율은 높으나 COD 제거율이 낮았는데, 이는 염료의 발색단만 깨어져 색이 없어 졌을 뿐 무기화가 완전히 진행되지 않아 COD 제거율이 낮다는 것을 의미한다. 이는 오존과 UV 처리가 염색 폐수의 색도 처리에는 효과적이지만 COD 제거율이 낮았다고 보고한 박 등²⁴⁾의 보고와 일치하는 것으로 나타났다. 오존 램프에 의한 RhB의 COD 제거와 같이 전기분해 공정의 낮은 COD 제거율도 10분 내에 RhB의 거의 모든 색이 제거되는 Fig. 3의 경우와는 다른 경향을 보였다. 이는 염료의 경우 자외선, 산화제 라디칼 등이 색도를 나타내는 분자를 선택적으로 공격하거나 염료 분자는 색을 나타내는 발색단이 끊어져도 색깔을 잃어버리기 때문에 색이 쉽게 제거되지만 COD의 경우 발색단이 끊어진 화합물이 분해 되어 CO₂와 물로 되는데 는더 긴 시간

이 필요한 것으로 사료되었다.

이와 같은 사실을 확인하기 위하여 전기/UV 공정에서 RhB 수용액의 시간에 따른 흡광도 변화를 Fig. 7에 나타내었다. RhB의 최대 흡수 파장(554 nm)이 시간이 지나면서 빠르게 감소되었으며, 7분이 지난 후 거의 모든 peak가 소멸되었으며, 새로운 peak가 나타나지 않았다. 이와 같은 결과는 오존등/광촉매를 이용하여 RhB 분해에 대해 같은 경향을 보고한 안 등²⁵⁾의 연구결과와 일치하였으며, UV/TiO₂를 이용한 광촉매 반응에서 RhB의 색 제거시 최대 peak는 감소하고 새로운 peak가 발생하지 않기 때문에 RhB의 색 감소는 발색단이 깨어지기 때문이라고 보고한 Zhao 등²⁶⁾의 보고와 비교할 때 같은 결과를 얻었다. 즉, 광촉매 반응과 같이 전기/UV 반응에서도 RhB의 빠른 색 감소는 다른 연구자들의 보고와 같이 오존 램프를 사용하더라도 변색작용(discoloration)이 아니라 발색단의 파괴에 의한 것이라는 것을 나타내며, RhB 분해에 소요되는 시간보다 무기화에 해당하는 COD 제거에 몇 배의 시간이 더 소요되는 것으로 나타났다.

전기분해, UV 단일공정에서의 90분후 COD 제거율 합은 67.7%로 나타났고, 전기/UV 공정에서는 94.1%로 나타나 복합 공정에서의 RhB의 색도 제거에 대한 시너지 효과는 Fig. 5에서 보는 바와 같이 나타나지 않았으나 COD 제거에서는 Fig. 6 (b)와 같이 시너지 효과가 나타났다.

단일 공정의 결합으로 인한 시너지 효과를 알아보기 위하여 공정의 결합으로 생길 수 있는 반응을 고찰하였다. 전기분해와 UV 공정의 결합에서 예상되는 OH 라디칼 발생경로는 다음과 같다. (1) 전기분해시 전극에서 발생하는 OH 라디칼, (2) 전기분해시 생성되는 과산화수소와 오존의 반응에 의한 OH 라디칼 생성($H_2O_2 + 2O_3 \rightarrow 2 \cdot OH + 3O_2$), (3) 전기분해에서 생성되는 과산화수소와 오존 램프의 UV에 의한 OH 라디칼 생성($H_2O_2 + h\nu \rightarrow 2 \cdot OH + O_2$), (4) 전기분해에서 생성되는 오존과 오존 램프의 UV에 의한 OH 라디칼 ($O_3 + h\nu + H_2O \rightarrow 2 \cdot OH + O_2$), 및 (5) 오존 램프에서 발생하는 오존과 오존 램프의 UV의 반응에 의한 OH 라디칼 생성($O_3 + h\nu + H_2O \rightarrow 2 \cdot OH + O_2$)이다.

이 중에서 본 실험에서 사용한 불용성 전극인

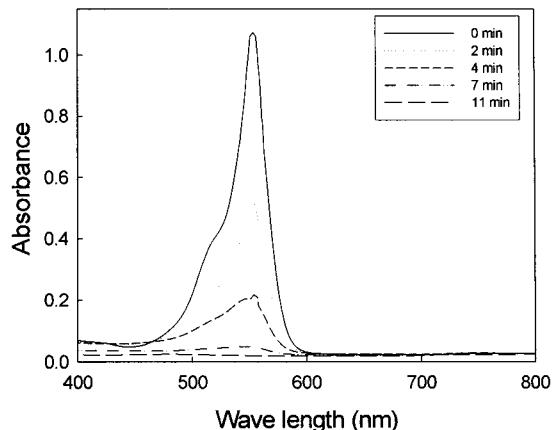


Fig. 7. Absorbance spectra changes of RhB as a function of irradiation time(RhB conc., 5 mg/L; Lamp power 30 W; Air supply, 2 L/min; current, 0.5 A; NaCl conc., 0.25 g/L).

Ru-Sn-Sb/Ti 전극에서는 본 실험법위보다 높은 전류와 NaCl 농도에서도 실험하여도 OH 라디칼이 발생하지 않았다는 박²⁷⁾의 연구결과로 볼 때 단일 단일 공정인 전기분해 공정에서 경로 (1)과 (2)에 의한 OH 라디칼은 거의 없는 것으로 사료되었다. 또한 Fig. 6 (a)에서 오존 램프에 의한 RhB의 COD는 거의 제거되지 않는 것으로 나타나 경로 (5)에서의 오존 램프 자체의 조사에서의 OH 라디칼 발생은 거의 없는 것으로 사료되었다. 그러나 Fig. 2에서의 RhB의 색 감소는 오존 램프에서 발생하는 오존과 UV-C 때문인 것으로 사료되었다. 따라서 전기/UV 공정에서 OH 라디칼 발생은 주로 경로 (3)과 (4)에 의한 것이라고 사료되었다. 전기분해 공정과 오존 램프 단독 공정 외 경로 (3)와 (4)과 같은 복합공정의 시너지 효과로 인해 Fig. 6 (b)와 같은 결과가 나오는 것으로 사료되었다. 복합 공정에서의 정확한 시너지 효과를 고찰하기 위해서는 OH 라디칼의 분석이 필요하며, 향후 전기/UV 공정에서의 OH 라디칼과 생성 산화제 농도를 분석하여 COD 농도 감소와 OH 라디칼 및 산화제의 상관관계를 고찰할 예정이다.

4. 결 론

본 연구는 난분해성 염료인 RhB의 처리를 위한 전기/UV 공정에서 전해질인 NaCl이 단일 공정인 전

기분해 공정과 UV 공정과 전기/UV 복합 공정에 미치는 영향을 고찰하였고 복합 공정에서의 RhB 색도와 COD 처리에 대한 성능을 평가하여 전기/UV 공정의 적용가능성을 고찰한 결과 다음의 결과를 얻었다.

1) 오존 램프를 사용한 UV 공정에서는 첨가한 NaCl 농도가 증가하면서 RhB 분해효율이 감소하는 것으로 나타났다. 전기분해 반응의 경우 NaCl 첨가량이 증가할수록 초기 반응속도가 증가하고 반응 후 최종 농도도 감소하는 것으로 나타났으며 최적 NaCl 농도는 0.75 g/L인 것으로 판단되었다.

2) 전기/UV 공정에서는 NaCl 농도가 0.25 g/L까지 RhB 분해속도가 증가하였으며 0.5 g/L 이상의 NaCl 농도에서는 RhB 분해속도가 증가하지 않는 것으로 나타나 전기/UV 공정에서 최적 NaCl 농도는 0.25 g/L로 판단되었다. 전기/UV 공정의 최적 NaCl 농도와 전기분해 공정의 최적 NaCl 농도는 다른 것으로 나타났다. NaCl은 UV 공정에는 저해 효과를, 전기분해 반응에서는 증진효과를 가져오지만 전기분해 반응에서의 증진 효과가 크기 때문에 두 공정을 합한 전기/UV 복합 공정에서는 증진 효과가 나타나는 것으로 사료되었다.

3) 전기/UV 공정에서 RhB 제거에 대해서 단일 공정의 결합으로 인한 시너지 효과는 관찰되지 않았다. 전기/UV 공정에서 RhB 수용액의 시간에 따른 흡광도 변화를 고찰한 결과 최대 peak만 사라지고 새로운 peak가 나타나지 않아 반응 초기에 RhB는 발색단만 깨어져 바른 색 감소를 나타낸 것으로 사료되었다. 전기/UV 공정에서 RhB의 COD 제거에 대해서는 시너지 효과가 관찰되었다.

참 고 문 헌

- 1) Kim T. H., Park C. H., Lee J., Shin E. B., Kim S. Y., 2002, Pilot scale treatment of textile wastewater by combined processes (fluidized biofilm process-chemical coagulation -electrochemical oxidation), *Wat. Res.*, 36, 3979-3988.
- 2) Kim T. H., Park C. H., Kim S. Y., 2008, Adsorption of textile wastewater on sawdust, *J. of KSEE.*, 30(4), 439-445.
- 3) Ha D. Y., Cho S. H., 2003, Comparison of UV/H₂O₂ and TiO₂ photocatalytic oxidation in the dyeing wastewater treatment efficiency, *J. of KSEE.*, 25(9), 1123-1131.
- 4) 양용운, 1996, 염색폐수의 색도제거기술 현황 및 대책 방안, 11, 2-11.
- 5) Andeozzi R., Caprio V., Amedo I., Marotta R., 1999, Advanced oxidation process(AOP) for water purification and recovery, *Cat. Today*, 53(1), 55-59.
- 6) Herrmann J. M., 1999, Heterogeneous photocatalysis: fundamentals and applications to the removal of various types of aqueous pollutants, *Cat. Today*, 53(1), 115-129.
- 7) 김동석, 박영식, 2009, 산화제 생성율이 높은 촉매성 산화물 전극(DSA)의 개발에 관한 연구(2), *한국환경과학회지*, 18(1), 61-72.
- 8) Chen G., 2004, Electrochemical technologies in wastewater treatment, *Sep. Purif. Technol.*, 38, 11-41.
- 9) Coast C. R., Botta C. M. R., Espindola E. L. G., Oliva P., 2008, Electrochemical treatment of tannery wastewater using DSA® electrodes, *J. of Hazard. Mater.*, 153, 616-627.
- 10) Jüttner K., Galla U., Schmieder H., 2000, Electrochemical approaches to environmental problems in the process industry, *Electrochimica Acta*, 45, 2575-2594.
- 11) 김홍석, 서인석, 최일환, 김연권, 김지연, 이진영, 2004, 용존공기를 이용한 소독능 향상 전기분해 소독공정개발, *한국물환경학회·대한상하수도학회 공동추계학술발표회 논문집*, 625-628.
- 12) Panizza M., Barbucci A., Ricotti R., Cerisola G., 2007, Electrochemical degradation of methylene blue, *Sep. Purif. Technol.*, 54, 382-387.
- 13) Daneshvar N., Aber S., Vatanpour V., Rsoulifard, H., 2008, Electro-Fenton treatment of dye solution containing Orange II: influence of operational parameters, *J. of Electroanal. Chem.*, 615(2), 165-174.
- 14) 박영식, 김동석, 2008, 전해질 첨가 전기/UV 공정을 이용한 염료의 색 제거, *한국환경과학회 추계학술발표회*, 17(1), 368-372.
- 15) 박영식, 2008, 전기분해와 UV 조사에 의한 Rhodamine B의 제거(1), *한국환경보건학회지*, 34(6), 439-445.
- 16) Piscopo A., Robert D., Weber J. V., 2001, Influence of pH and chloride anion on the photocatalytic degradation of organic compounds part I. effect on the benzamide and para-hydroxybenzoic acid in TiO₂ aqueous solution, *Appl. Cat. B: Environ.*, 35, 117-124.
- 17) <http://www.uvshop.co.kr/FrontStore/iGoodsView.phtm?iCategoryId=9&iCategoryId>Main=0&iGoodsId=G12T5VH&iCurrentPage=1>
- 18) APH-AWWA-WPCE, 1992, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 18th Ed., APHA, Washington D. C..
- 19) Raghu S., Basha C. A., 2007, Electrochemical treatment of Procion Black 5B using cylindrical flow reactor-a pilot plant study. *J. of Hazard. Mat. B*, 139, 381-390.

- 20) Abdullah M., Low, G. K., Matthews R. W., 1990, Effects of common inorganic anions on rates of photocatalytic oxidation of organic carbon over illuminated titanium dioxide, *J. Phys. Chem.*, 94, 6820-6825.
- 21) 박영식, 김동석, 2007, 전기화학적 소독에 의한 *Legionella pneumophila* 불활성화, *한국물환경학회지*, 23(5), 613-619.
- 22) Bejankiwar R., Lalman J. A., Seth R., Biswas N., 2005, Electrochemical degradation of 1,2-Dichloroethane(DCA) in a synthetic ground water medium using stainless-steel electrodes, *Wat. Res.*, 39, 4715-4724.
- 23) 김동석, 박영식, 2007, 불용성 전극을 이용한 Rhodamine B의 전기화학적 탈색, *한국물환경학회지*, 23(3), 377-384.
- 24) 박영식, 안갑환, 2001, 오존 및 UV 후처리가 염색 폐수의 COD와 색도 제거에 미치는 영향, *환경위생학회지*, 27(4), 93-98.
- 25) 안갑환, 권수광, 박영식, 2004, Rhodamine B의 오존 등/광촉매 탈색, *대한환경공학회지*, 26(10), 1063-1069.
- 26) Zhao J., Wu T., Wu K., Oikawa K., Hidaka H., Serpone N., 1998, Photoassisted degradation of dye pollutants. 3. Degradation of the cationic dye Rhodamine B in aqueous anionic surfactant TiO₂ dispersions under visible light irradiation: evidence for the need of substrate adsorption on TiO₂ particles, *Environ. Sci. Technol.*, 32, 2394-2400.
- 27) Park Y. S., 2008, Indirect oxidation of dye using quaternary dimensionally stable anode (DSA) with High generation rate of oxidants, Korea Research Foundation, 2007 Regional University Researchers Program, Final Report(E00115), 8-22.