

전기 펜톤-유사 반응을 이용한 Rhodamine B의 색 제거

김동석 · 박영식*

대구가톨릭대학교 환경과학과, *대구대학교 보건환경전공
(2007년 5월 29일 접수; 2007년 8월 1일 채택)

Decolorization of Rhodamine B by Electro Fenton-like Reaction

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 29 May, 2007; accepted 1 August, 2007)

Abstract

The electro-chemical decolorization of Rhodamine B (RhB) in water has been carried out by electro Fenton-like process. The effect of distance, material and shape of electrode, NaCl concentration, current, electric power, H_2O_2 and pH have been studied. The results obtained that decrease of RhB concentration of Fe(+)-Fe(-) electrode system was higher than that of other electrode system. The decrease of RhB concentration was not affected electrode distance and shape. Decolorization of electro Fenton-like reaction, which was added H_2O_2 onto the electrolysis using electrode was higher than electrolysis. Addition of NaCl decreased the electric consumption. The lower pH is, the faster initial reaction rate and reaction termination time observed.

Key Words : Electrolysis, Electro Fenton-like, NaCl dosage, Rhodamine B, Decolorization

1. 서 론

염색폐수는 난분해성 물질과 독성 물질의 함량이 높고 오염물질의 부하변동 및 pH 변화 등이 심하며 수온이 높아 일반적인 처리시스템으로는 효과적으로 처리하기 어렵다¹⁾.

염색폐수를 효과적으로 처리하기 위해 기존 시스템을 중심으로 공정을 개량하는 연구들이 많이 수행되고 있으며, 전기화학적 방법에 의한 처리방법 연구도 진행되고 있다²⁾.

전기분해는 오래전에 개발된 개념이지만 오.폐수

처리에 적용된 것은 비교적 최근의 일이다. 전기화학적인 원리를 이용한 폐수처리는 기존의 전기 화학 이론을 유해성 산업폐수 처리 분야에 적용하여 다양한 산업폐수를 처리하기 위한 것으로 전해질을 포함한 유.무기성 폐수에 전기를 공급하여 전극 반응을 통해 폐수를 처리하는 방법이다³⁾. 전기화학적인 수처리 방법은 철이나 알루미늄 등 전기분해에 의해 이온이 용출되는 전극을 사용하거나 불용성 전극(DSA, Dimensionally stable anode)를 사용한 전기분해 등이 있다. 전기분해장치의 전극 중 양극에서는 산화가 일어나며 음극에서는 환원반응이 일어나면서 전하를 띤 용존 또는 부유물질들이 전극 판에 접근하면서 전극 판 주위의 여러 물질들과 복합적인 반응이 일어나게 된다⁴⁾.

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

전기분해에 의한 오염물 처리는 전극 표면에서 전자의 이동에 의해 오염물이 파괴되는 직접 분해와 수용액 중에 발생하는 하이드록실라디칼($\cdot\text{OH}$), 하이드로퍼 옥시칼($\text{HOO}\cdot$), 과산화수소(H_2O_2) 및 오존(O_3) 등의 산화물질에 의한 간접 분해 효과로 나눌 수 있다⁵⁾. 전기분해에 의한 수처리는 생물학적 처리법 및 물리·화학적 처리법과 비교할 때 장치의 크기에 비하여 처리능력이 뛰어나고 반응의 제어가 용이하며, 운전비용이 적을 뿐만 아니라 유량, 부하 변동 및 수온변동에 적용이 쉬운 장점을 지니고 있다^{6,7)}.

화학적 산화법 중 잘 알려진 펜톤 공정은 과산화수소와 $\cdot\text{OH}$ 의 발생 촉진을 위한 Fe^{2+} 형태의 철염을 산화중 내에 주입하여 수중의 유기물질을 빠르게 산화, 제거하는 공정으로 각종 화학약품산화중과 매립지 침출수, 염화화합물로 오염된 토양 정화에 이르기까지 폭 넓게 이용되고 있다^{8,9)}. 그러나 철이온에 의한 다량의 수산화물 형태의 슬러지 발생과 액상형태로 주입되는 펜톤 시약의 과다 등은 기술의 제약점으로 지적되고 있다. 이를 보완하기 위하여 환원 상태의 철인 금속 철(Fe^0)과 과산화수소를 이용한 펜톤-유사 산화 공정(Fenton-like oxidation)이 개발되고 있는데, 슬러지의 생산이 많은 철염대신 금속 Fe 를 사용하기 때문에 기존 펜톤 산화 반응에서 생기는 수산화물 형태의 슬러지 발생을 최소화시키고 SO_4^{2-} 등의 부산물 발생 또한 억제할 수 있는 장점이 있다^{10,11)}.

본 연구는 기존의 전기분해반응에서 연구되었던 용해성 전극인 철 전극에서 철 이온이 용출되므로 여기에 과산화수소를 투입하면 펜톤-유사 반응이 될 수 있다고 판단하여 철 전극에 의한 직접 산화 공정인 전기분해 공정과 전극에서 용출되는 철 이온과 과산화수소의 펜톤-유사 반응을 결합한 전기 펜톤-유사 반응에 의한 발암성 염료인 Rhodamine B(RhB) 처리에 대한 기초연구를 수행하였다.

2. 재료 및 방법

실험에 사용한 반응기는 전극 반응기와 순환 반응기로 구성된 순환식 회분반응기로 아크릴로 제작하였으며, 2 L의 반응용적을 가졌다. 전극을 전극 반응기에 장착하고 반응시켰으며 반응한 RhB 용액

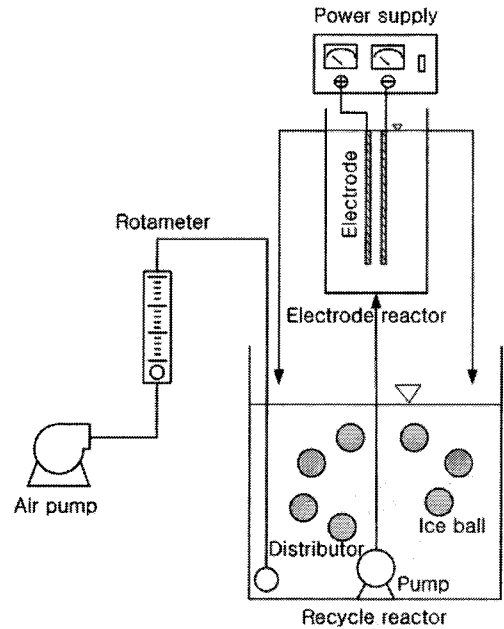


Fig. 1. Schematic diagram of reactor system.

은 전극 반응기 양쪽에서 순환 반응기로 자유낙하로 공급하였으며, 순환 반응기는 펌프를 이용하여 전극 반응기 하부로 폐수를 공급하여 순환되도록 하였으며, 고른 순환을 위하여 에어펌프를 사용하여 1 L/min의 공기를 주입하였다. 순환 반응기의 온도를 $20\pm 2^\circ\text{C}$ 로 유지하기 위하여 아이스 볼을 투입하여 온도를 조절하였다. 전극은 63 mm x 115 mm 이고 두께가 1 mm인 철 전극과 두께가 0.5 mm인 알루미늄 및 스테인리스 전극을 사용하였다. 철 전극은 평판형과 2, 6 mm의 구멍이 뚫린 전극을 사용하였다. 반응의 촉진을 위하여 30% 과산화수소수 5 mmol을 투입하여 실험하였다.

RhB의 농도는 UV-VIS spectrophotometer(Genesis 5, Spectronic)를 사용하여 RhB의 최대 흡수파장인 554 nm를 측정하여 검량선을 사용하여 나타내었다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 전극 간격, 재질 및 모양이 RhB 색 감소에 미치는 영향

철 전극만으로 RhB 농도감소가 가능한지에 대한 예비실험 결과 H_2O_2 를 투입하지 않고 전기분해만 하는 경우에 실험한 결과 RhB 농도가 감소가 50%

정도에 지나지 않아 H₂O₂를 투입하여 실험하였다. 평판형 철 전극을 사용하고 H₂O₂를 5 mmol 투입한 조건에서 전극 간격을 1 cm로 하고 전류를 0.5-2.0 A로 변화시켰을 때의 RhB 농도 감소를 Fig. 2에 나타내었다. 그림에서 보듯이 전류가 0.5 A에서 1.0 A로 변할 때 RhB 농도 감소가 크게 나타났으나 1.0 A 이상에서는 더 이상의 농도 감소가 없었다. 1 A가 최적 전류라고 사료되었다.

전류를 1.0 A로 고정하고 전극 간격을 1-3 cm로 변화시켜 RhB 농도감소를 Fig. 3에 나타내었다. 그림에서 보듯이 전극 간격에 따른 RhB 농도감소는 큰 차이를 보이지 않았다.

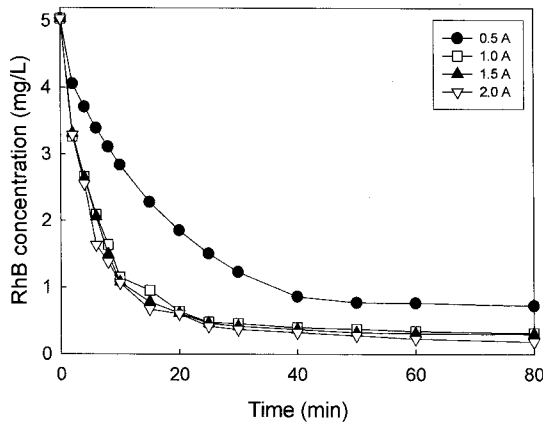


Fig. 2. Effect of current on the decolorization of RhB (Electrode, Fe; Electrode distance, 1 cm; H₂O₂ conc., 5 mmol).

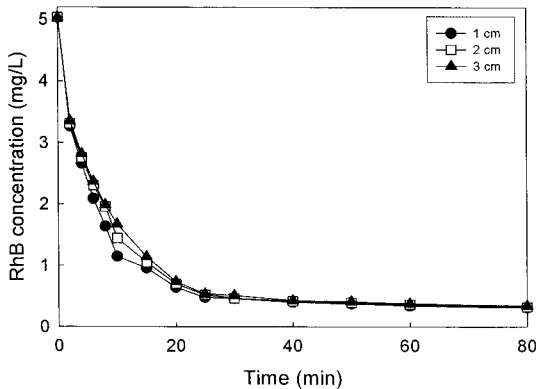


Fig. 3. Effect of electrode distance on the decolorization of RhB (Electrode, Fe; Current, 1 A; H₂O₂ conc., 5 mmol).

윤⁷⁾은 알루미늄 전극을 사용하여 생활하수를 처리하였을 때 전극 간격이 멀어질수록 전기전도도가 낮아져 COD 제거율이 감소되었다는 보고와는 제거율이라는 측면에서 다른 결과를 얻었으나, Fe(+)와 Al(-) 전극을 이용하여 염료 처리시 8분 이상의 반응 시간에서 전극 간격(1-3 cm)에 따른 처리율 변화가 없었다는 이 등¹²⁾의 결과와 같은 결과를 얻었다. 그러나 1.0 A의 전류를 전극에 흘려주기 위해서 전극 간격이 1 cm인 경우 45.7 V, 2 cm는 96.1 V, 3 cm는 116 V의 전압이 필요하게 되어 적은 전력량으로 같은 RhB 제거효율을 얻기 위해서는 전극 간격이 좁을수록 유리하다고 사료되었다.

용해성 전극을 이용하는 경우 주로 철 전극과 알루미늄 전극 또는 스테인리스 스틸이 많이 저렴하고 구하기 쉽기 때문에 많이 이용된다¹²⁾. 양극을 철로 고정하고 음극을 철, 알루미늄 및 스테인리스 스틸로, 양극과 음극 모두를 알루미늄으로 바꾸어 RhB 농도 변화를 고찰하여 Fig. 4에 나타내었다.

그림에서 보듯이 양극과 음극 모두 철 전극을 사용한 것이 RhB 농도 감소가 가장 높았으며 양극을 철 전극으로 음극을 다른 전극으로 사용한 경우는 처리 효율 차이가 크지 않았다. 그러나 양극과 음극 모두 알루미늄 전극을 사용한 경우는 RhB 농도 감소가 낮게 나타났다.

양극을 철 전극으로 하고 음극을 변화시킨 경우는 아래의 식과 같이 양극과 음극의 전극반응에 의해 전기화학적 산화와 환원 반응이 발생하는데, 양

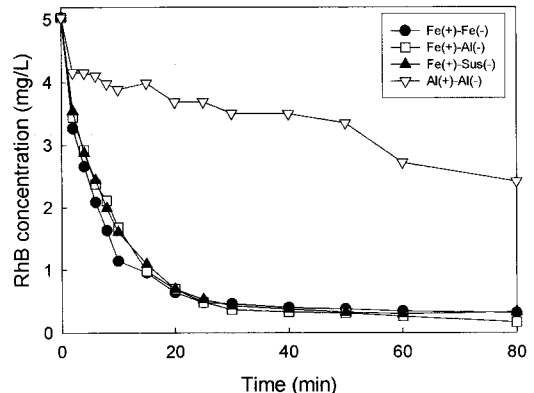
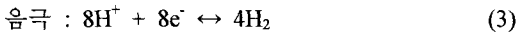
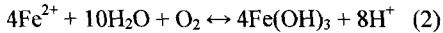
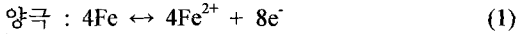


Fig. 4. Effect of electrode material on the decolorization of RhB (Electrode distance, 1 cm; Current, 1 A; H₂O₂ conc., 5 mmol).

극에서 발생한 Fe^{2+} 가 투입한 H_2O_2 와 반응하여 펜톤 반응을 일으키므로 주요 전극은 양극이므로, 음극을 다른 재질로 바꾼 경우에도 처리율의 차이를 보이지 않는다고 사료되었다¹³⁾.



Do 등¹⁴⁾은 Al 전극을 사용할 경우 낮은 pH 영역에서 양극에서 Al^{3+} 와 $Al(OH)_2^+$ 가 발생하고 고농도의 Al^{3+} 가 염료 흡착에 이용되지만, pH 4-9에서는 고분자 종인 $Al_13O_4(OH)_{24}^{7+}$ 와 $Al(OH)_3(s)$ 가 발생하고 염료가 고분자 종과 흡착, 전하 중화 및 포획(enmeshment)에 의해 효율적으로 제거되었다는 보고와 비교할 때 용해성 전극으로 철과 알루미늄을 이용한 경우의 제거 메커니즘이 다른 것으로 사료되었다.

길 등⁹⁾은 전극을 알루미늄, 철, 스테인리스 스틸로 사용하여 침출수의 색도와 COD를 처리하였는데, Al(+)-Al(-)과 Fe(+)-Fe(-)의 전극 시스템에서 Fe(+)-Fe(-) 시스템의 색도 처리율이 다소 높았다고 보고한 결과와 유사한 결과를 얻었다.

철 전극의 모양을 모양은 같지만 평판형(전극 면적, 72.5 cm^2)과 2 mm(60.1 cm^2)와 6 mm(61.2 cm^2)의 구멍이 일정하게 뚫린 전극을 이용하여 전극의 모양이 RhB 농도 감소에 미치는 영향을 Fig. 5에서 고찰하였다.

그림에서 보듯이 평판형 전극보다는 2 mm와 6 mm의 구멍이 뚫린 전극을 사용하는 것이 평판형 전극을 사용하는 것보다 유리한 것으로 나타났으나 그 효과는 크지 않은 것으로 사료되었다.

3.2. NaCl, 전류 변화, 전력 변화에 따른 RhB 농도 감소의 영향

전류를 1 A로 고정하고 H_2O_2 를 5 mmol 투입한 조건에서 NaCl의 양을 0-1 g/L 투입하였을 때 NaCl 투입량에 따른 RhB 농도감소를 Fig. 6에 나타내었다.

그림에서 보듯이 NaCl을 첨가하지 않은 경우의 RhB 농도 감소가 가장 높은 것으로 나타났는데, NaCl의 첨가로 인해 전류의 흐름이 원활해져 RhB 농도감소가 높을 것이라는 예상과는 다른 결과를

나타내었다. 그러나 전압을 조사한 결과 0 g/L의 경우는 47.6 V, 0.1 g/L는 33.1 V, 0.25 g/L는 21.2 V, 0.5 g/L는 13.6 V, 0.75 g/L는 8.6 V, 1.0 g/L는 7.1 V로 나타나 전압이 NaCl의 첨가로 인해 1 A를 전류를 흘려주는데 필요한 전압이 NaCl 첨가량에 따라 감소하여 전체 전력량이 감소하기 때문인 것으로 사료되었다.

NaCl 첨가량을 0-1.0 g/L로 달리 첨가하면서 전력량을 60 W로 고정한 결과 전류가 1.00 A-3.00 A까지 변화하였으며 전류변화에 따른 RhB 농도 감소를 Fig. 7에 나타내었다. Fig. 7에서 보듯이 같은 전력량에서

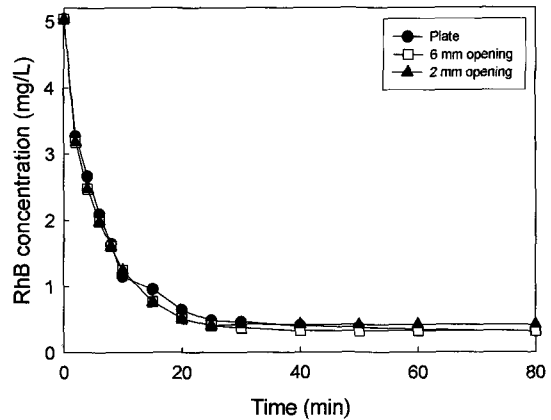


Fig. 5. Effect of electrode shape on the decolorization of RhB (Electrode, Fe; Electrode distance, 1 cm; Current, 1 A; H_2O_2 conc., 5 mmol).

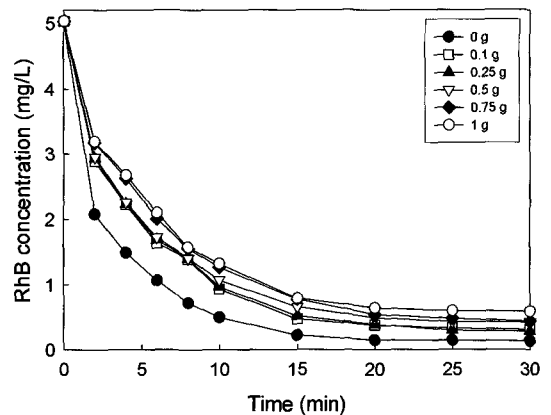


Fig. 6. Effect of NaCl dosage on the decolorization of RhB (Electrode, Fe; Electrode distance, 1 cm; Current, 1 A; H_2O_2 conc., 5 mmol).

NaCl의 첨가량이 증가하여 전류가 증가할수록 초기 반응속도가 증가하는 것으로 나타났으나 30분의 반응시간 후 최종 RhB 농도는 유사한 것으로 나타났다.

Fig. 8에 NaCl 농도를 0.5 g/L로 고정하고 전류를 0.5-3.16 A로 변화시켰을 때의 RhB 농도를 나타내었다. 같은 NaCl 첨가량에서 전류를 변화시켜 전력을 변화(3.3-111 W)시켰을 때 초기 반응속도는 물론 30분이 반응종결시간 때의 RhB 농도도 달라졌다. 3.16 A 적용시 반응 종결 후 RhB 농도는 0.07 mg/L로 나타나 대부분의 RhB가 제거되었다. 그러나 빠른 온도상승으로 인해 온도를 제어하기 힘들어 3.0

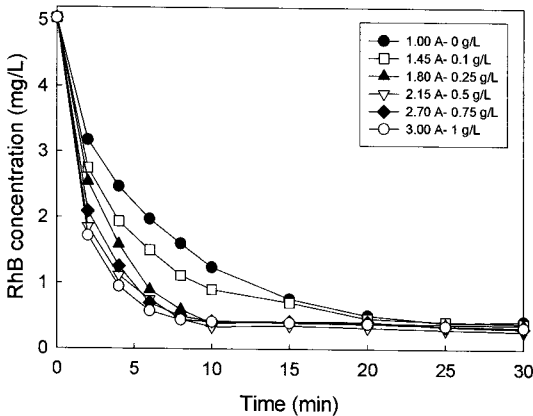


Fig. 7. Effect of current on the decolorization of RhB (Power, 60 W; Electrode, Fe; Electrode distance, 1 cm; H₂O₂ conc., 5 mmol).

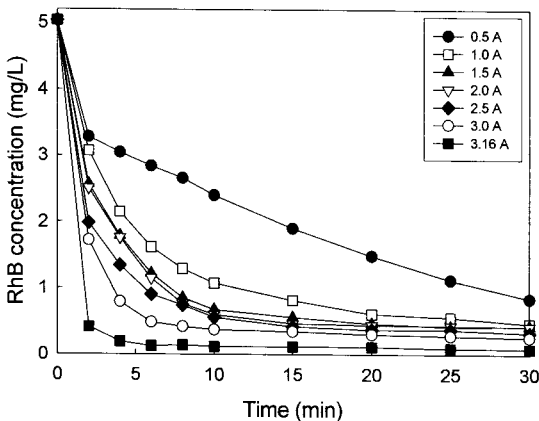


Fig. 8. Effect of current on the decolorization of RhB (NaCl dosage, 0.5 g/L; Electrode, Fe; Electrode distance, 1 cm; H₂O₂ conc., 5 mmol).

A 이하의 전류에서 실험하여야 한다고 사료되었다.

3.3. H₂O₂와 pH의 영향

Fig. 9에 NaCl 첨가량을 0.5 g/L, 전류를 3.0 A로 고정하고, H₂O₂ 농도를 0-12.5 mmol로 변화시켜 RhB 농도 감소를 고찰하였다. 그림에서 보듯이 H₂O₂를 투입하지 않은 순수 전기분해 반응의 경우 30분의 반응시간 후 51.1%의 제거율을 얻었으며, 2.5 mmol 첨가의 경우도 83.6%의 제거율을 얻었다. 95 %이상의 처리율을 얻기 위해서는 H₂O₂가 7.5 mmol 이상 첨가되어야 하지만 12.5 mmol 첨가시 초기 반응속도와 최종 RhB농도가 조금 증가되어 펜톤 반응에서 높은 H₂O₂ 농도에서 관찰되는 scavenging 효과가 나타나는 것으로 사료되었다. 철 전극만을 이용하여 전기분해 반응만을 이용하는 경우보다 H₂O₂를 첨가하여 전기분해 + 펜톤-유사 반응을 이용하는 것이 RhB의 탈색에 유리하다고 사료되었다.

Fig. 4에서 H₂O₂를 투입하지 않고 Al(+)-Al(-) 전극을 이용한 경우 30분경과 후 RhB 농도는 3.5 mg/L로 나타났고, H₂O₂를 투입하지 않고 Fe(+)-Fe(-)를 이용한 Fig. 9의 30분 후 RhB 농도는 2.46 mg/L로 나타나 처리율이 각각 30.4%와 51.1%로 나타나 H₂O₂를 투입하지 않고 순수 전기분해만 이용하였을 경우 Fe(+)-Fe(-) 전극 시스템이 Al(+)-Al(-) 시스템에 비하여 더 높은 처리율을 얻을 수 있었다.

펜톤 공정을 통해 생성되는 ·OH의 양은 pH에 의해 영향을 받는데, 특히 ·OH은 산성 조건에서

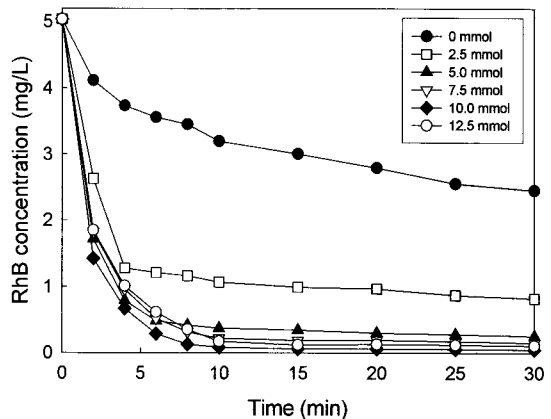


Fig. 9. Effect of H₂O₂ dosage on the decolorization of RhB (NaCl dosage, 0.5 g/L; Electrode, Fe; Electrode distance, 1 cm; Current, 3 A).

잘 생성된다고 알려져 있다¹⁵⁾.

NaCl 첨가량을 0.5 g/L, 전류를 3.0 A로 고정하고, H₂O₂ 농도를 5 mmol로 고정한 조건에서 pH를 3-9로 변화시켜 Fig. 10에 나타내었다. 그림에서 보듯이 pH가 산성영역으로 갈수록 초기 반응속도와 반응 종결시간이 빨라졌으며, 97% 이상의 제거율을 얻기 위해서는 pH 6이하에서, 5분 이내의 반응종결을 위해서는 pH 5이하에서 운전하여야 한다고 사료되었다. 장 등⁸⁾은 0가 철인 철 분말을 이용한 펜톤 유사 반응에서 Fe⁰의 Fe²⁺와 Fe³⁺ 이온으로의 부식반응은 낮은 pH에서 촉진되어 반응이 빠르다고 보고한 결과와 비교할 때 낮은 영역에서의 pH는 양극 산화반응에 의해 철 이온이 발생하는 외, 낮은 pH에서의 철 부식반응 촉진으로 인해 생성된 철 이온이 펜톤 반응에 이용되기 때문에 낮은 pH에서 반응속도가 빠른 것으로 사료되었다.

3.4. 전극 개수와 배열의 영향

전극 개수가 2개인 경우를 기준으로 전류를 3 A로 고정하고 전력량을 90 W로 고정한 뒤 전극 개수를 2-4개로 변화시키고, 전극 배열을 바꾸었을 때 RhB 농도 감소를 Fig. 11에 나타내었다.

그림에서 보듯이 전극의 개수를 2-4개로 변화시켰을 때 초기 반응속도만 차이이고 반응 종결시 농도 차이는 크지 않았다. 반응초기 8분 동안의 반응

초기 속도식을 1차식으로 구한 초기 반응속도상수를 구한결과 전극이 2개인 경우 0.389 1/min ($R^2=0.973$), 3전극이고 전극 배열이 +-+인 경우는 0.297 1/min ($R^2=0.967$), +-인 경우는 0.346 1/min ($R^2=0.961$), 4개인 경우는 0.346 1/min ($R^2=0.871$)으로 나타나 전극이 +의 한 쌍인 경우의 초기 반응속도상수가 가장 높게 나타났고 초기 반응속도상수의 순서는 + > +- = +-+ > +-+로 나타났다. 반면 반응 종결시 RhB 농도는 각각 0.256, 0.373, 0.336 및 0.406 mg/L로 나타나 4개 전극인 경우의 최종 RhB 농도가 가장 높게 나타났다.

전극에 걸리는 전압을 살펴본 결과 2전극인 경우는 30 V, +-+인 경우는 17.4 V, +-인 경우는 18.3 V, +-+인 경우는 12.3 V의 전압이 걸리는 것으로 나타났다.

상기의 결과와 전압 자료로 볼 때 전극의 개수가 증가하면 반응 면적은 증가하는 효과가 있지만 전체 전력은 전극 사이에 걸리는 전압이 적기 때문에 전기분해 효과가 감소한다고 사료되었다. 전극 배열이 +-+인 경우와 +-인 경우를 비교하면 +-+가 +-보다 초기 반응속도상수가 빠르고 반응 종결시 농도가 낮은 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 같은 3 A의 전류를 흘려주기 위한 전압이 +-의 경우 18.3 V, +-+의 경우 17.4 V가 필요한 것으로 나타나 두 전극 시스템의 전력량이 차이를 보이며, 전극에서

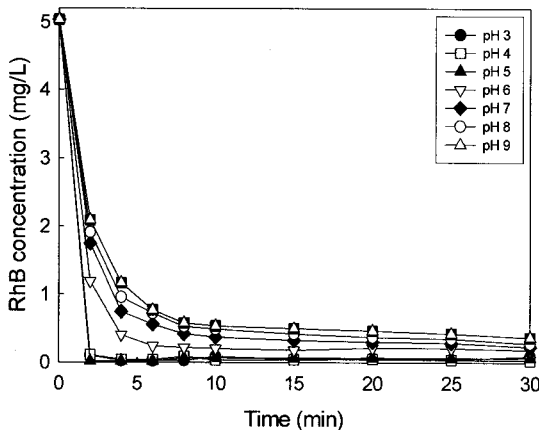


Fig. 10. Effect of pH dosage on the decolorization of RhB (NaCl dosage, 0.5 g/L; Electrode, Fe; Electrode distance, 1 cm; Current, 3 A; H₂O₂ conc., 5 mmol).

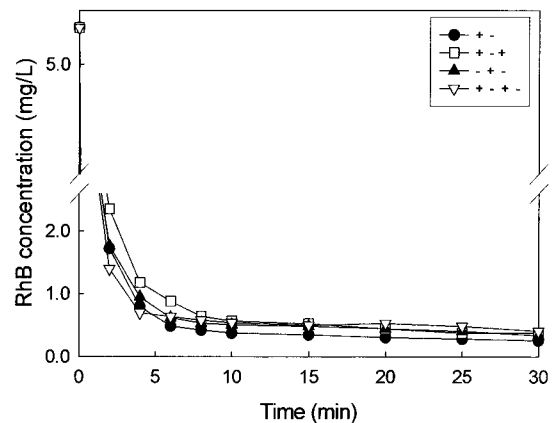


Fig. 11. Effect of electrode number and arrangement on the decolorization of RhB (Power, 90 W; NaCl dosage, 0.5 g/L; Electrode, Fe; Electrode distance, 1 cm; Current, 3 A; H₂O₂ conc., 5 mmol).

용출되는 철 슬러지의 양을 측정된 결과 철이 용해되는 양극이 1개인 +-의 경우 1.606 g이 용출되었고, 양극이 2개인 ++의 경우 1.845 g이 용출되어 철로 인한 색 때문에 최종 농도에서 차이난다고 사료되었다.

실험한 거의 모든 조건에서 반응시간 30분 동안 1.2-1.6 g/L의 철 슬러지가 발생하는 것으로 나타났으며, 철 전극을 사용할 경우의 양극에서 용출된 철 슬러지를 펜톤-유사 반응에 이용되어 반응속도를 촉진시키는 역할을 하지만 종래의 펜톤 공정과 같은 슬러지의 발생은 현장 적용 가능성을 고려할 경우 문제점이 발생할 것으로 사료되었다.

따라서 철과 같은 용해성 전극에서 발생하는 슬러지는 본 연구와 같은 SS가 없는 폐수가 아니라 이동³⁾과 같이 전기분해-전기응집 공정을 이용한 침출수 처리, 김 등¹⁶⁾과 같이 염색회사의 원 염색폐수 등과 같이 SS가 같이 존재하는 폐수의 전기응집을 같이 이용하는 공정에 적합한 공정으로 사료되었다.

4. 결 론

본 연구는 용해성 전극인 철 전극을 이용하고 과산화수소를 투입한 전기 펜톤-유사 반응을 이용하여 발암성 염료인 Rhodamine B(RhB) 처리에 대한 기초연구를 수행한 결과는 다음과 같다.

전극 간격을 1-3 cm로 변화시켜 RhB 농도감소를 고찰한 결과 전극간격에 따른 RhB 농도감소는 큰 차이를 보이지 않았으나 전력량을 감안하면 전극 간격이 좁을수록 유리하다고 사료되었다. 양극과 음극 모두 철 전극을 사용한 것이 RhB 농도가 감소가 가장 높았으며 전극 모양에 따른 RhB 농도 감소는 큰 차이를 보이지 않았다.

NaCl 첨가는 전력 소모를 줄여주는 역할을 하는 것으로 나타났고, 같은 전력량에서 NaCl의 첨가량이 증가하여 전류가 증가할수록 초기 반응속도가 증가하는 것으로 나타났으나 30분의 반응시간 후 최종 RhB 농도는 유사한 것으로 나타났다. 철 전극만을 이용하여 전기분해 반응만을 이용하는 경우보다 H₂O₂를 첨가하여 전기분해 + 전기 펜톤-유사 반응을 이용하는 것이 RhB의 탈색에 유리하다고 사료되었다. pH가 산성영역으로 갈수록 초기반응속도와

반응종결시간이 빨라졌으며, 97% 이상의 제거율을 얻기 위해서는 pH 6이하에서, 5분 이내의 반응종결을 위해서는 pH 5이하에서 운전하여야 한다고 사료되었다. 용해성 전극에 과산화수소를 투입한 전기 펜톤-유사 반응은 RhB 처리능은 우수하지만 발생하는 슬러지를 적절히 이용할 수 있는 전기분해-전기응집 공정에 사용하는 것이 적절한 것으로 사료되었다.

참 고 문 헌

- 1) 황병호, 강명근, 김현경, 원호식, 공성호, 배우근, 2003, 생물학적 및 Fenton 공정에 의한 염색종합폐수의 유기물질 및 색도 제거특성, 대한환경공학회지, 25(9), 1085-1091.
- 2) 유재정, 민경석, 박정민, 서정관, 2003, 반응성염료 폐수의 전기분해 처리와 처리수 수질 평가, 대한토목학회논문집, 23(1B), 31-37.
- 3) 이태진, 한기훈, 이호상, 김장규, 1999, 철 전극을 이용한 전해물질 폐수처리 연구, 한국물환경학회지, 15(1), 71-77.
- 4) 김승도, 윤정이, 박준숙, 최영근, 1997, 오수 COD 제거를 위한 전기분해장치의 최적 pH에 대한 연구, 한국수질보전학회 추계학술발표회 논문집, 77-80.
- 5) 김홍석, 서인석, 최일환, 김연권, 김지연, 이진영, 2004, 용존공기를 이용한 소독능 향상 전기분해 소독공정 개발, 한국물환경학회.대한상하수도학회 공동추계학술발표회 논문집, 625-628.
- 6) 길대수, 이병현, 이계근, 2000, 전기분해에 의한 고농도 유기물질 제거 특성, 대한환경공학회지, 22(2), 251-264.
- 7) 윤용수, 2003, 전기분해를 이용한 생활 하수 처리 특성, 한국환경분석학회지, 6(2), 125-132.
- 8) 장운영, 최상일, 이철효, 2000, 매립지 침출수처리를 위한 펜톤유사반응에 관한 연구, 한국물환경학회지, 16(3), 413-420.
- 9) Luching F., Koser H., Jank M., Ritter A., 1998, Iron powder, graphite and activated carbon as catalysts for the oxidation of 4-chlorophenol with hydrogen peroxide in aqueous solution, Water Research, 32(9), 2607-2614.
- 10) Kang G. G., Kim S. Y., Chang Y. Y., Bae B. H., Chang Y. S., 2002, Steelers' dust-catalyzed oxidative treatment of landfill leachate, Korean Society of Soil and Groundwater Environment, 7(1), 25-31.
- 11) 이웅, 이성재, 박규홍, 배법한, 장운영, 장운석, 2003, 제강분진을 이용한 4-chlorophenol의 펜톤유사 산화반응, 한국물환경학회지, 19(4), 401-414.

- 12) 이진휘, 연만형, 2002, 전기분해를 이용한 염색폐수의 제거, 한국환경분석학회지, 5(1), 63-67.
- 13) Lin S. H., Peng C. F., 1994, Treatment of textile wastewater by electrochemical method, Water Research, 28(2), 277-282.
- 14) Do J. S., Chen M. L., 1994, Decolorization of dye-containing solutions by electrocoagulation, J. of Applied Electrochemistry, 24, 785-790.
- 15) Kang S. F., Lioa C. H., Po S. T., 2000, Decolorization of textile wastewater by photo-Fenton oxidation technology, Chemosphere, 41, 1287-1294.
- 16) 김영관, 오미영, 2000, 전기응집을 이용한 염색폐수의 처리, 대한환경공학회지, 22(8), 1429-1436.