

## PC7) Ru-Sn-Sn 전극을 이용한 염료의 색 제거

박영식\*, 김동석<sup>1</sup>

대구대학교 보건과학부, <sup>1</sup>대구가톨릭대학교 환경과학과

### 1. 서 론

전기화학적 처리공정은 깨끗하고 저온에서 운전되고 보통 추가 시약의 투입이 필요하지 않으며, 물과 폐수로부터 유기물과 무기물을 제거하기 위한 새로운 공정이다.(Jüttner, et al., 2000)

전기화학적 공정에서 오염물질은 직접 산화나 간접 산화 공정에 의해 파괴된다. 직접 산화 공정에서 오염물질은 양극 표면에 흡착되고 양극의 전자전달 반응에 의해 파괴된다. 간접 산화 공정에서는 hypochlorite/chlorine, 오존과 과산화수소와 같은 강한 산화제가 전기화학적으로 발생한다. 오염물질은 생성된 산화제에 의해 벌크 용액에서 파괴된다. 모든 산화제들은 반응기내(in situ)에서 생성되어 바로 이용된다(Rajeshwar and Ibanez, 1997).

본 연구진은 Rhodamine B(RhB)와 같은 난분해성 염료를 처리하기 위한 분말 광촉매, 고정화 광촉매, 펜톤, 펜톤-유사 공정, 광-펜톤 공정, 오존 및 오존/UV/TiO<sub>2</sub> 공정 등에 대한 연구를 수행하여 왔다.(박영식 등, 2006; 2007) 기존 산화공정에 관한 연구는 복합 공정을 제외하고는 고농도의 염색폐수 처리가 곤란하여 최근에는 전기-펜톤 유사 공정과 전기분해를 이용한 분해 공정에 대한 연구를 수행하고 있으며, 전기분해 공정이 높은 농도의 염료를 빠르게 처리할 수 있는 공정임을 예비 실험을 통하여 알게 되었다. 그러나 지금까지 전기화학 공정을 이용한 염색폐수 처리에 대한 대부분의 연구는 직접 산화나 산소방출용으로 개발된 전극을 간접 산화에 이용하여 처리한 연구가 대부분인데, 염화물이 함유되어 있는 염색폐수의 특성을 이용하여 산화제가 많이 발생할 수 있는 전극을 이용하여 간접 산화에 의해 염색폐수를 처리할 경우 고농도의 염료나 염색폐수를 빠르게 효율적으로 처리할 수 있을 것이다.

### 2. 재료 및 실험 방법

전극은 다음과 같은 방법에 의하여 제조하였다. 63 x 115 mm 크기의 메쉬형 Ti 판을 40% NaOH 용액에 함침하고 80℃에서 2시간동안 유지하여 Ti 판에 묻어 있는 기름기를 제거하고 35% HCl로 61±2℃에서 1시간동안 에칭하고 초순수로 세척한 뒤 자연 건조하여 전처리 하였다. Ru:Sn:Sb=9:1:1 및 Ru:Pt:Gd=5:5:1 전극을 제조하였으며, Ru 0.05 M을 기준으로 다른 전극 성분의 몰 비를 맞추었다. 전극 성분을 HCl(35%)과 n-butanol이 2:8의 비율로 혼합된 용액 50 mL에 투입하고 교반하여 코팅액을 제조하였다. 혼합 용액을 붓으로 도포하고 80℃로 유지되는 건조기에서 5분 동안 건조시켜 용매를 증발 시킨 뒤, 500℃로 유지되는 전기로에서 5분 동안 소성시킨 뒤 상온으로 냉각시켰다. 이 과정을 20회 반

복하고 최종적으로 500°C로 유지되는 전기로에서 1시간동안 소성시켜 전극을 제조하였다. 제조한 전극의 성능평가는 양이온성 염료인 Rhodamine B의 분해를 이용하여 평가하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 전류의 영향

Ru:Sn:Sb 전극의 성능을 평가하기 위하여 3, 4성분계 전극 중 가장 성능이 우수하였던 Ru:Sn:Sb 전극의 전류를 0.5-3 A로 변화시키면서 전류 변화에 따른 RhB 농도 변화를 Fig. 1에 나타내었다. 전류가 2 A까지 RhB 농도가 빠르게 감소하였으나 2 A이상의 전류에서는 RhB 농도 감소가 크지 않아 최적 전류는 2 A인 것으로 나타났다.

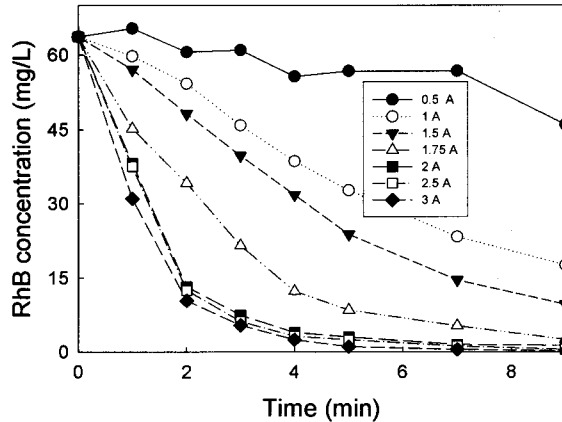


Fig. 1. Effect of current on the RhB concentration in Ru-Sn-Sb electrode.

#### 3.2. 전해질 종류의 영향

전해질은 전기전도도와 관계있을 뿐만 아니라 간접 산화와 관계있는 산화제 생성과도 큰 관계가 있기 때문에 중용한 운전인자 중의 하나이다. NaCl 1.75 g/L의 첨가시의 전기전도도인 3.64 ms를 기준으로 KCl, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 및 HCl을 같은 전기전도도를 가지도록 첨가하여 전해질 종류가 RhB 분해에 미치는 영향을 고찰하여 Fig. 2에 나타내었다. 3.64 ms의 전기전도도를 가지기 위해 필요한 KCl은 1.89 g/L, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>는 2.63 g/L로 나타났고, HCl의 pH는 2.15로 나타났다. HCl과 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 첨가시 RhB 농도 감소는 적은 것으로 나타났고 두 전해질의 차이는 크지 않았다. KCl과 NaCl이 다른 두 전해질보다 RhB 농도감소가 큰 것으로 나타났으며 KCl보다 NaCl의 효과가 더 큰 것으로 나타났다. 전해질 종류와 RhB 분해 성능과의 관계는 산화제 생성 농도와의 관계를 같이 고찰할 필요가 있는 것으로 사료되었다.

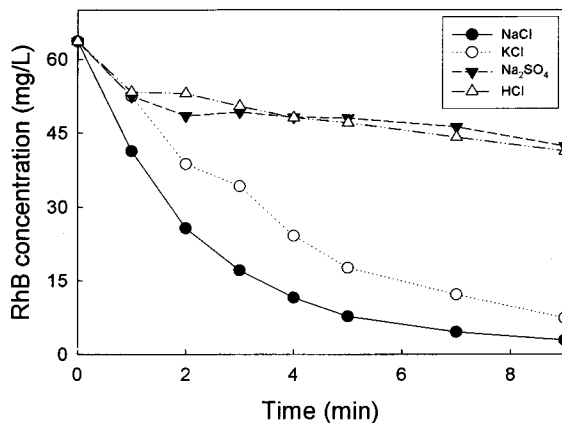


Fig. 2. Effect of electrolyte type on the RhB concentration in Ru-Sn-Sb electrode (current, 2 A; conductivity, 3.64 ms).

#### 3.3. NaCl 농도의 영향

3.2 절에서 최적 전해질은 NaCl인 것으로 나타나 NaCl 농도 변화가 RhB 농도 변화에 미치는 영향을 Fig.

3에 나타내었다. 그림에서 보듯이 NaCl 농도가 증가함에 따라 RhB 농도가 감소되는 것으로 나타났으며, 7분 이상의 반응시간에서 1.75 g/L와 2.0 g/L의 RhB 농도가 유사한 것으로 나타나 최적 NaCl 농도는 14.75 g/L인 것으로 사료되었다.

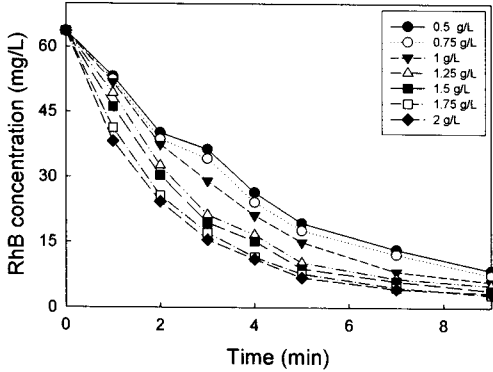


Fig. 3. Effect of electrolyte concentration on the RhB concentration in Ru-Sn-Sb electrode (current, 2 A).

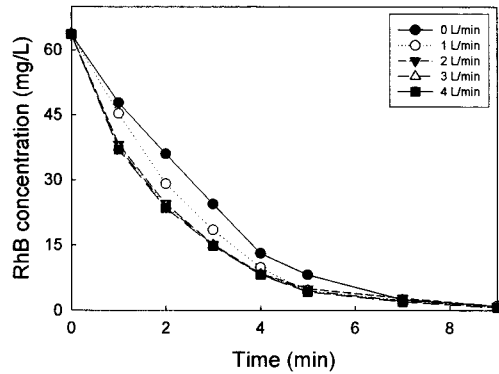
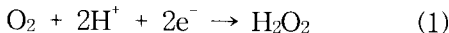


Fig. 4. Effect of air flow rate on the RhB concentration in Ru-Sn-Sb electrode (current, 2 A; NaCl 1.75 g/L).

### 3.4. 공기량의 영향

전기분해 반응이 진행되면 (+)극에서는 음극에서 생성된 수산화이온(OH<sup>-</sup>)이 산화되면서 산소(O<sub>2</sub>)가 발생한다. 이렇게 발생한 산소는 유기물의 간접 산화에 관여한다. 전기화학반응도중에 양극의 표면에서 오존(O<sub>3</sub>)과 과산화수소(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)가 중간 생성물로 생성되며, 식(1)과 같이 양극의 표면에서 생성된 산소(O<sub>2</sub>)가 전기에너지를 받아 2개의 수소이온 및 전자와 결합하여 물로 환원되면서 중간생성물로 미량의 과산화수소가 생성된다. (유석봉, 2005)



공기 공급량을 0-4 L/min으로 변화시켰을 때 공기공급량 변화에 따른 RhB 농도 변화를 Fig. 4에 나타내었다. 2 L/min까지 RhB 초기 분해속도가 증가하는 것으로 나타났으며 2 L/min 이상의 공기 공급량에서는 RhB 농도변화가 거의 없어 최적 공기 공급량은 2 L/min으로 나타났다.

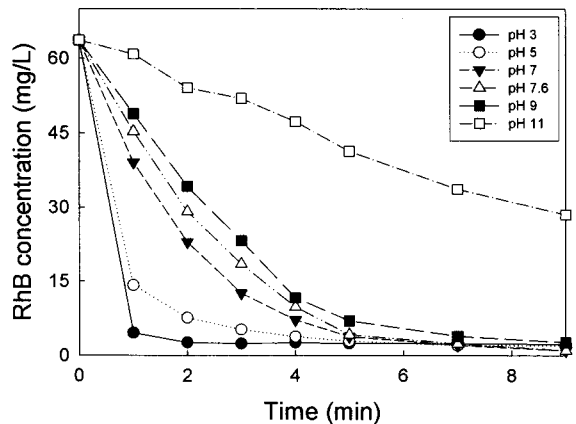


Fig. 5. Effect of pH on the RhB concentration in Ru-Sn-Sb electrode (current, 2 A; NaCl 1.75 g/L).

### 3.5. pH의 영향

pH를 3-11로 변화시켰을 때 RhB 농도 변화를 Fig. 32에 나타내었다. pH가 산성으로 갈수록 초기 분해속도가 빨라지는 것으로 나타났으며, pH 7에서 9까지의 경우는 pH가 감소할수록 RhB 농도가 감소하는 것으로 나타났으나 차이는 크지 않은 것으로 나타났다. 그러나 pH가 11로 증가되면서 RhB 분해속도가 매우 느려지는 것으로 나타났다.

## 4. 요약

Ru:Sn:Sb 전극의 성능에 영향을 미치는 인자에 대하여 조사하여 다음의 결과를 얻었다. 0.5-3 A로 전류를 변화시켰을 때 최적 전류는 2 A로 나타났다. 실험에 사용한 전해질의 RhB 분해 성능은 NaCl > KCl > HCl > Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>로 나타났다. 최적 NaCl 농도는 1.75 g/L로 나타났다. 최적 공기 공급량은 2 L/min으로 최적 pH는 3으로 나타났다.

## 참 고 문 헌

- Jüttner, K., Galla, U. and Schmieder, H., 2000, Electrochemical approaches to environmental problems in the process industry, *Electrochimica Acta*, 45, pp. 2575-2594.
- Rajeshwar, K., Ibanez, J.G., 1997, *Environmental electrochemistry: fundamentals and applications in pollution abatement*, Academic Press Inc., San Diego, CA., pp. 361-370.
- 박영식, 김동석, 2006, 전기 펜톤-유사 반응을 이용한 염료의 색 제거, *한국환경과학회 추계학술발표대회*, 15(2), pp. 481-484.
- 박영식, 김동석, 2007, 오존, 광촉매 및 복합 공정을 이용한 Rhodamine B의 색과 COD 제거, *한국물환경학회.대한상하수도학회 공동 춘계학술발표회*, pp. 1537-1542.
- 유석봉, 2005, 전기분해를 이용한 가정용정수기의 살균특성 연구, 석사학위논문, 환경공학과, 인하대학교 석사학위논문, 인천.