

PC3) 3차원 전극을 이용한 염료의 색 제거

박영식*, 김동석¹

대구대학교 보건과학부, ¹대구가톨릭대학교 환경과학과

1. 서 론

전기화학적 처리공정은 깨끗하고 저온에서 운전되고 보통 추가 시약의 투입이 필요하지 않으며, 물과 폐수로부터 유기물과 무기물을 제거하기 위한 새로운 공정이지만, 폐수 처리에 대한 전기산화(EO, electrooxidation)에 대한 최초 연구는 시안화물의 전기화학적 분해에 대해 연구한 19세기로 거슬러 올라가는데, 전기산화 기술에 대한 광범위한 연구는 1970년대 후반부터 시작되었다. 전기화학적 처리는 아래의 장점이 있어 지난 20여 년간 연구되어 왔다(Jüttner et al., 2000). (1) 다용도 : 직접, 간접 산화와 환원, 상 분리, 농축 또는 회석, 살생물제 기능성(biocide functionability), 기체, 액체 및 고체에서 다양한 매질과 오염물질에 대한 적용성이 높다. (2) 폭 넓은 처리량 : μL 부터 백만 리터까지 처리할 수 있어 처리용량의 적용범위가 넓다. (3) 에너지 효율 : 전기화학적 공정은 일반적으로 전기화학적인 등가 대응물(equivalent counterpart)인 즉, 열 소각보다 낮은 온도요구량을 가진다. 전극과 셀은 비균일 전류 분포, 전압 강화와 부반응에 의해 야기되는 전력손실을 최소화할 수 있게 설계할 수 있다. (4) 용이한 자동화 : 전기화학적 공정은 고유의 변수(즉, 전극 전위와 셀 전류)는 자동화가 용이하다. (5) 비용효율 : 셀 제조와 주변장치 설비는 장치가 간단하고 설치비가 저렴하다. (6) 단순한 처리 공정 : 전극이 장착된 셀과 전원 공급 장치 등으로 이루어져 있어 처리공정이 간단하다.

많은 연구자들이 다른 종류의 전극을 사용하여 여러 가지 오염물질의 산화 효율에 대해 초점을 맞추어 연구하였으며, 전기촉매 활성도와 전극재료의 전기화학적 안정성의 개선과 공정의 성능에 영향을 주는 인자와 오염물질 분해에 대한 제거기작과 동력학에 대해 연구하였다(Chen, 2004).

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)

그러나 전기화학적 공정은 본질적으로 고체 전극과 전해질 용액의 이온 종 사이의 불균일 전자전달(heterogeneous electron transfer)을 포함한다.(Fockedeey et al., 2002) 그러므로 전기화학 반응의 속도는 전자전달속도(electron transfer rate)에 영향을 받는다. 즉, 반응속도는 전극의 비표면적에 직접 비례한다. 그러나 표면적을 넓히는 것은 종래의 2차원 전극 반응기에서는 달성하기 어려운 실정이다.

3차원 전극이 이 문제를 해결하는 한 방안이 될 수 있다. 3차원 전극은 2차원 전극과는

달리 많은 작은 입자들이 3차원 전극 반응기에 사용된다. 적절한 전압에서의 전기장의 영향 아래에서 이들 입자들은 분극화되어 전하를 띤 미소전극(microelectrode)을 형성한다. 전극 비표면적 증가에 의해 반응물과 전극 사이의 거리는 짧아지고 전기분해 효율이 증가하게 된다.(Xu et al., 2008).

본 연구에서는 기 개발된 전기 분해율이 높은 전극을 선정하고 여기에 입상 활성탄을 미소 전극으로 이용하여 일반적인 전기분해를 이용한 반응과 3차원 전극을 이용한 반응의 성능을 비교하여 3차원 전극의 적용 가능성을 평가하고자 한다.

2. 재료 및 실험 방법

분해대상 물질은 양이온성 염료인 Rhodamine B(RhB)를 사용하였다. RhB 분해 실험 산화제 생성 실험 기초실험에 사용할 반응기는 회분식으로 제작하였으며 양극과 음극으로는 63 x 115 mm 크기의 메쉬형 Pt, Sus를 사용하였다. 양극과 음극 사이의 충전 물질은 입상 활성탄(GAC), ACF(activated carbon fiber) 활성탄이 코팅된 부직포를 이용하였다. GAC는 양극과 음극 사이에 100 g을 충전하였고, 이때의 양극과 음극 사이의 거리인 26 mm를 기준으로 ACF와 부직포를 충전하였다. 반응기의 부피는 1 L이며, 반응기 내에서의 교반을 위하여 에어펌프를 사용하여 1 - 5 L/min의 공기를 주입하였다. 직류 전원공급기 (Hyunsung E&E, 50 V 20 A)를 이용하여 전극에 전원을 공급하였다. 3차원 전극은 실험 전 흡착에 의한 분해를 막기 위하여 RhB 용액에 하루 동안 함침시킨 뒤 실험하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 전극 선정

충전물을 충전하지 않은 2차원 전극 3종류와 3종류의 충전물을 충전한 5종류의 3차원 전극의 시간에 따른 RhB 농도 변화를 Fig. 1에 나타내었다.

2차원 전극의 RhB 분해 성능은 Pt(+)-Pt(-) > Pt(+)-Sus(-) > Sus(+)-Sus(-) 전극의 순으로 나타났다. 양극이 같은 Pt-Pt 전극과 Pt-Sus 전극의 성능 차이는 크지 않은 것으로 나타났다.

그러나 Sus-Sus 전극의 경우 RhB가 분해 되지 않고 40분 이후 색도가 오히려 증가하는 현상이 나타났는데 이는 양극에서 Sus가 분해 되어 용출되기 때문인 것으로 판단되었다. 3차원 전극은 Pt-ACF-Pt 전극만 2차원 전극보다 초기 반응속도가 낮고 최종 RhB농도가 높은 것으로 나타났으나 다른 전극은 충전물 종류에 관

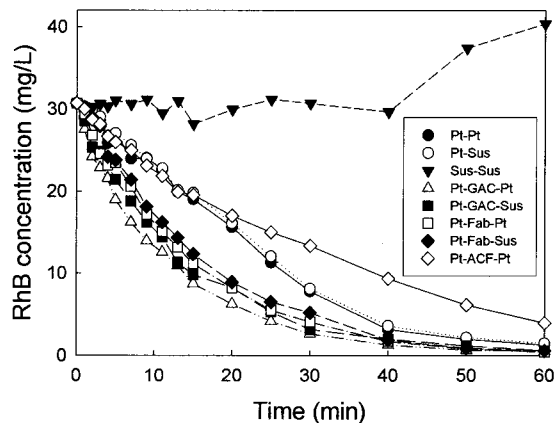


Fig. 1. Effect of electrode and filling material on RhB concentration (Current, 1 A; NaCl conc., 1 g/L; air supply, 1 L/min).

계없이 2차원 전극보다 초기 반응속도가 높은 것으로 나타났다.

음극의 종류에 관계없이 충전물에 따른 RhB 분해는 GAC > Nonwoven fabric fiber > ACF로 나타났다. 그러나 ACF를 충전한 3차원 전극의 낮은 처리 효율의 이유를 고찰한 결과 1 A의 전류를 흘려주기 위해 필요한 전압이 낮아 적용 전력이 낮아지기 때문에 RhB 농도감소율이 낮은 것으로 사료되었다.

3.2 GAC 충전량에 따른 RhB 분해

실험한 2,3 차원 전극 중에서 초기 반응속도가 가장 높았던 Pt-GAC-Pt 전극을 이용하여 GAC 충전량에 따른 RhB 농도 변화를 Fig. 2에 나타내었다.

GAC 충전량이 50 g 이상에서 RhB 분해속도는 거의 유사한 것으로 나타났으나 60분 후 최종 농도는 25 g의 경우 3.2 mg/L, 50 g 은 1.6 mg/L, 75 g은 1.5 mg/L, 100 g은 0.5 mg/L로 나타나 최종 농도로 판단할 경우 100 g의 GAC를 충전한 경우가 가장 좋은 것으로 보이지만 GAC 충전량이 증가할수록 양극과 음극 사이의 거리가 멀어져 전압이 높아지며 적용 전력량이 증가하기 때문인 것으로 사료되었다.

Fig. 3에 전력을 고려한 단위 W당 시간당 RhB 농도 감소를 나타내었다. 그림에서 보듯이 최적 GAC 충전량은 50 g로 사료되었다.

3.3. 최적 전류량

Pt-GAC-Pt 3차원 전극에서 GAC의 충전량을 50 g으로 유지하면서 전류를 0.5 - 3 A로 증가시키면서 RhB 농도변화를 나타내었다. 전류가 증가하면서 RhB 농도 감소폭이 커지는 것으로 나타났으나 2.5 A와 3 A의 RhB 농도 변화가 거의 같은 것으로 나타나 최적 전류가 존재하는 나타났으며 최적 전류는 2.5 A로 사료되었다.

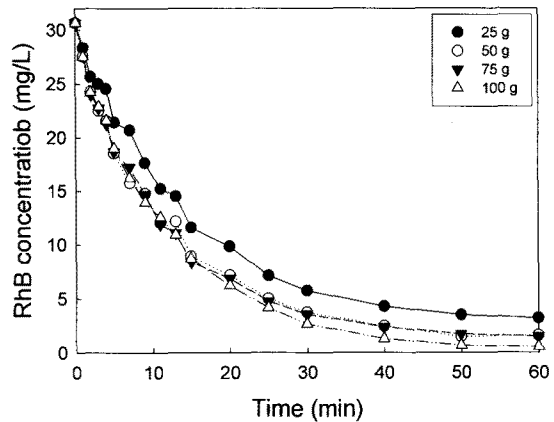


Fig. 2. Effect of GAC dosage on RhB concentration (Current, 1 A; NaCl conc., 1 g/L; air supply, 1 L/min)

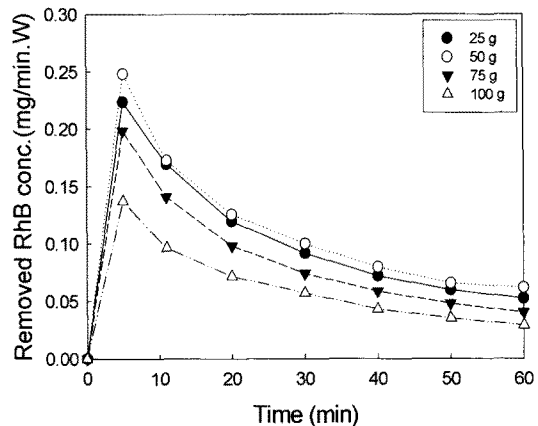


Fig. 3. Effect of GAC dosage on RhB concentration (Current, 1 A; NaCl conc., 1 g/L; air supply, 1 L/min)

4. 요약

2차원 전극의 RhB 분해 성능은 Pt(+)-Pt(-) > Pt(+)-Sus(-) > Sus(+)-Sus(-) 전극의 순으로 나타났다. 3차원 전극은 Pt-ACF-Pt 전극만 2차원 전극보다 초기 반응속도가 낮고 최종 RhB농도가 높은 것으로 나타났으나 다른 전극은 충전물 종류에 관계없이 2차원 전극보다 초기 반응속도가 높은 것으로 나타났다. 음극의 종류에 관계없이 3차원 전극의 충전물에 따른 RhB 분해는 GAC > Nonwoven fabric fiber > ACF로 나타났다. GAC 충전량이 50 g 이상에서 RhB 분해속도는 거의 유사한 것으로 나타났으나 전력을 고려한 단위 W당 시간당 RhB 농도 감소를 나타내었다. 그림에서 보듯이 최적 GAC 충전량은 50 g로 사료되었다. 최적 전류는 2.5 A로 사료되었다.

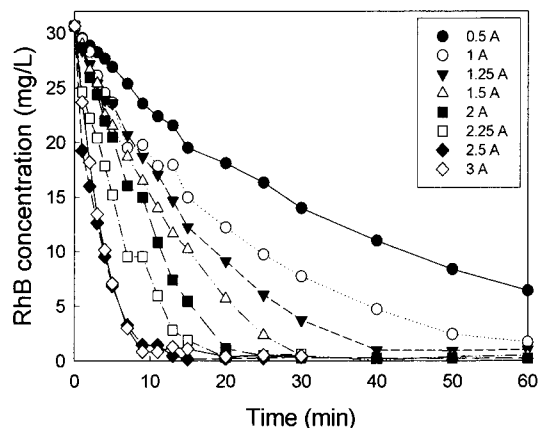


Fig. 4. Effect of current on RhB concentration(GAC dosage, 50 g; NaCl conc., 1 g/L; air supply, 1 L/min)

감사의 글

본 연구는 2008년도 산학협동재단의 지원을 받아 진행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고 문헌

- Jüttner, K., Galla U. and Schmieder, H., 2000, Electrochemical approaches to environmental problems in the process industry, *Electrochimica Acta*, 45, pp. 2575-2594.
- Chen, G., 2004, Electrochemical technologies in wastewater treatment, *Separation and Purification Technology*, 38, 11-41.
- Rajeshwar, K. and Ibanez, J.G., 1997, *Environmental electrochemistry: fundamentals and applications in pollution abatement*, Academic Press Inc., San Diego, CA., 361-370.
- Fockedey, E. and Van Lierde, A., 2002, Coupling of anodic and cathodic reactions for phenol electro-oxidation using three-dimensional electrodes, *Wat. Res.*, 36(16), 4169-4175.
- Xu, L., Zhao, H., Shi, S., Zhang, G. and Ni J., 2008, Electrolytic treatment of C.I. Acid Orange 7 in aqueous solution using a three-dimensional electrode reactor, *Dyes and Pigments*, 77, 158-164.