

Graphite 및 PtO₂/Ti 전극을 이용한 CI Direct blue 15 전기화학적 처리

구민규, 임준혁*
부경대학교 화학공학과
(jhlim@pknu.ac.kr*)

Electrochemical Treatment of CI Direct blue 15 Using Graphite and PtO₂/Ti Anode Electrode

Min-Gyu Ku, Jun-Heok Lim*
Department of Chemical Engineering, Pukyong National University
(jhlim@pknu.ac.kr*)

서론

본 연구에서는 염료로 diazo 화합물인 CI Direct blue 15를 사용하여 직접 조제한 폐수에 전기화학적 처리방법을 적용하였다. CI Direct blue 15는 셀룰로오스계 섬유의 염색에 사용되고, 실크와 양모, 면 등을 물들이는 데에 사용되기도 한다.[1] 가죽이나 종이 염색시키기도 한다. 그러나 이렇게 다양한 분야에 사용되는 CI Direct blue 15는 MSDS에 돌연변이와 기형 발생, 생식 독성을 가진다고 나타나 있으며, 특히 발암성을 갖는 위험물로 보고되고 있다.

이러한 위험성에도 불구하고 CI Direct blue 15의 제거에 대한 연구는 다른 염료에 비해 많이 이루어지지 않고 있다. 현재 알려져 있는 결과에서 CI Direct blue 15의 제거에 대해서는 Pazarlioglu 등[2]과 Kumar 등[3] 생물학적 처리법 등은 나와 있으나 전기분해를 이용한 제거 연구는 아직 이뤄지지 않고 있다. 전기화학적 처리방법은 전극의 산화환원반응에 의해 색도와 유기물 등을 처리하고, 다른 폐수처리방법들에 비해 반응기가 작고 경제적이고 간단하며 오염물제거속도가 아주 빠르다.

CI Direct blue 15를 사용한 염색폐수를 이용하여 Graphite, PtO₂/Ti 전극을 사용했을 경우 조업조건에 따른 영향을 실험하였으며, 탈색 효율을 향상시킬 수 있는 Graphite, PtO₂/Ti 전극에서의 조업조건을 알아보려고 하였다. Graphite, PtO₂/Ti 전극 사용시 알아보려고 하는 조건으로는 현재 폐수의 전기화학적 처리에 많이 사용되고 있는 전해질 농도, 전류밀도, 반응온도의 영향을 검토하였다. 음극은 stainless steel 전극을 사용하였고, 양극은 Graphite, PtO₂/Ti 를 사용하여 전극 성능 실험을 수행하였다.

실험

분석방법

$$\text{Removal efficiency(\%)} = \frac{A_0 - A_t}{A_0} \times 100$$

A₀ : 염색폐수의 초기 흡광도
A_t : 시간 t에서 폐수의 흡광도

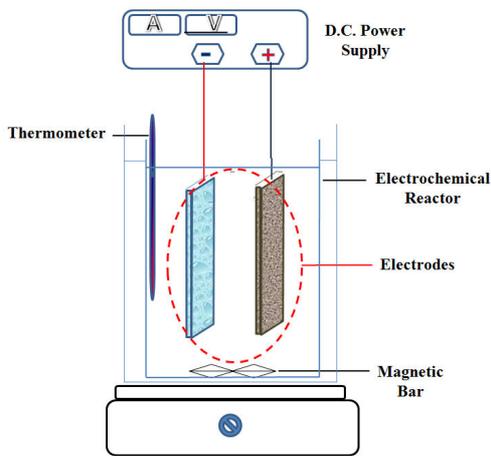


Fig. 1 Experimental set-up of electrochemical reactor.

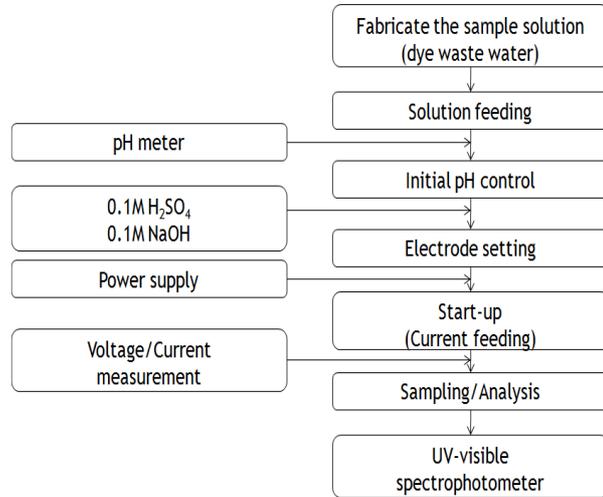
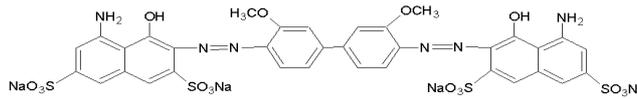


Fig. 2 Flowchart of experiment.

실험시약 CI Direct blue 15



결과 및 고찰

1) 전해질 농도의 영향

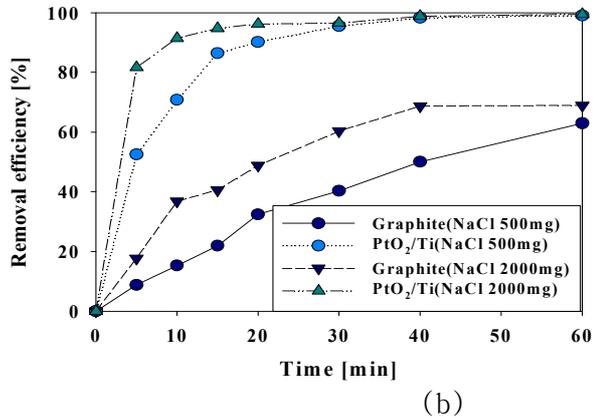
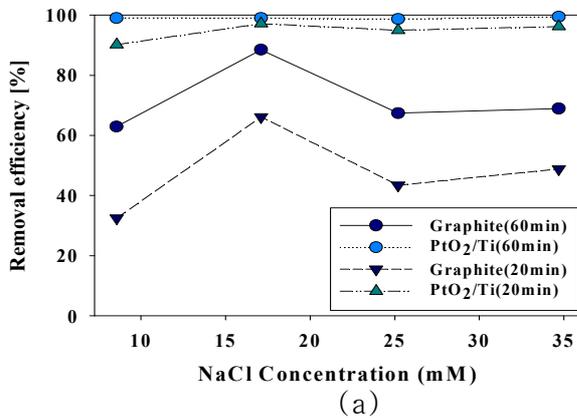
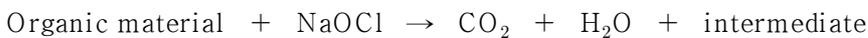
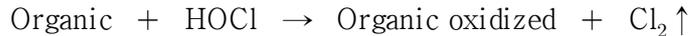


Fig. 3 Effect of NaCl concentration on the electrochemical degradation of CI Direct blue15, (Condition: Current density = 25.0mA/cm², pH = 5, Reaction temperature = 30°C)

염색폐수의 전기분해에서 NaCl을 전해질로 사용하면 아래의 반응식에 의하여 NaOCl과 HOCl이 생성된다.[4] 이 때 생성된 NaOCl은 Na⁺와 OCl⁻의 이온으로 해리되며 OCl⁻이 폐수 중에 존재하는 유기물을 분해시킬 수 있다.





전해질 농도에 따른 염료 제거 효율에 대한 실험결과를 Fig. 3에 나타내었다. PtO₂/Ti, graphite 전극을 양극으로 사용하였을 경우에(Fig. 3) 두 전극 모두 전해질 농도에 따라 제거 효율이 다름을 알 수 있다. 이는 Fig.3 (a), (b)를 보게 되면 뚜렷한 차이를 볼 수 있는데, graphite 전극을 사용할 시에 전해질 농도에 따른 제거효율의 차이가 뚜렷하게 나타나 전해질 농도가 제거효율에 미치는 영향을 확실히 알 수 있으며, 전해질 농도가 높을수록 제거효율이 좋아짐을 알 수 있다.

그 이유는 한 전해질로 사용된 NaCl의 농도가 증가하여 Cl⁻ 이온이 증가하고, Cl₂ 과전압을 양극에서 낮게 하여 hypochlorite의 생성을 촉진하기 때문이다.

정리 하자면 염료 제거에 강한 산화제로 작용하는 hypochlorite, free chlorine의 생성이 증가하여 염료의 제거속도가 빨라진다고 볼 수 있다.

또한 두 전극을 비교해 보았을 때, 전해질 농도 변화 외에도 전극에 따른 영향을 확연히 구분해 볼 수 있다. 즉 Fig. 3 (a)와 (b)를 통해서 PtO₂/Ti 전극이 Graphite 전극보다 반응 초기부터 후반부까지 제거효율이 현저히 높음을 알 수 있다.

2) 전류세기의 영향

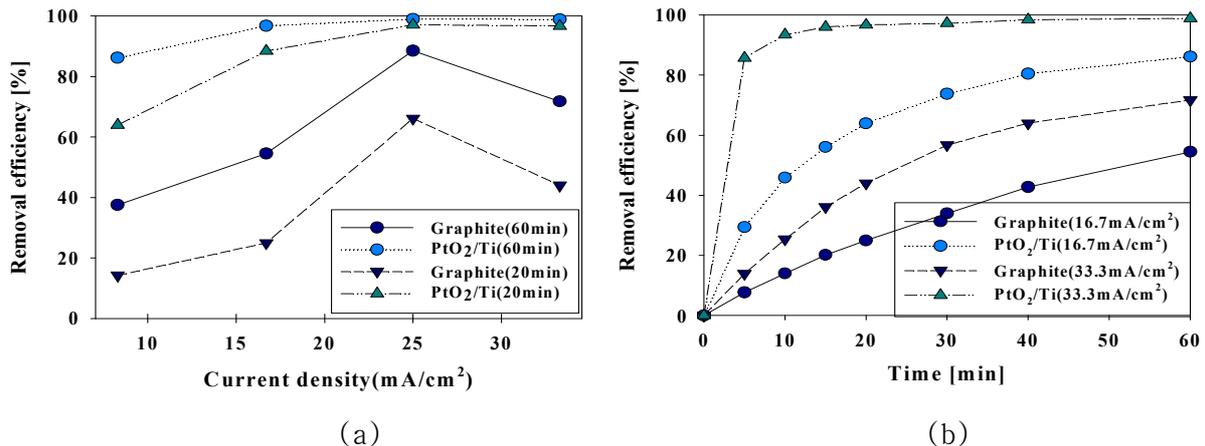


Fig. 4 Effect of current density on the electrochemical degradation of CI Direct blue 15, (Condition: NaCl concentration = 17.1 mM, pH = 5, Reaction temperature = 30 °C)

전기분해반응에서 전극과 전해질 용액에 가해지는 전류의 세기인 전류밀도의 영향을 알아보고 PtO₂/Ti 와 graphite 두 전극에서 전류세기의 영향을 알아보기 위한 실험을 수행하였으며 그 결과를 Fig. 4 (a), (b) 에 나타내었다. 두 전극 모두 전해질 농도 차이에 의한 제거효율 차이를 알 수 있으며, PtO₂/Ti 와 Graphite를 양극으로 사용하였을 경우 전류세기가 같을 때 전극에 따른 영향을 알 수 있었다. 즉 전극과 무관하게 전류세기가 셀수록 초기나 후반부나 모두 제거효율이 높았으며, PtO₂/Ti 전극이 Graphite전극 보다 전류세기와 무관하게 반응의 초반과 중반부 모두 제거효율이 높게 나타났다. 따라서 PtO₂/Ti 전극에서 전류세기를 보다 높게 할 경우 최적의 염료폐수 제거효율을 얻을 수 있다.

3) 반응 온도의 영향

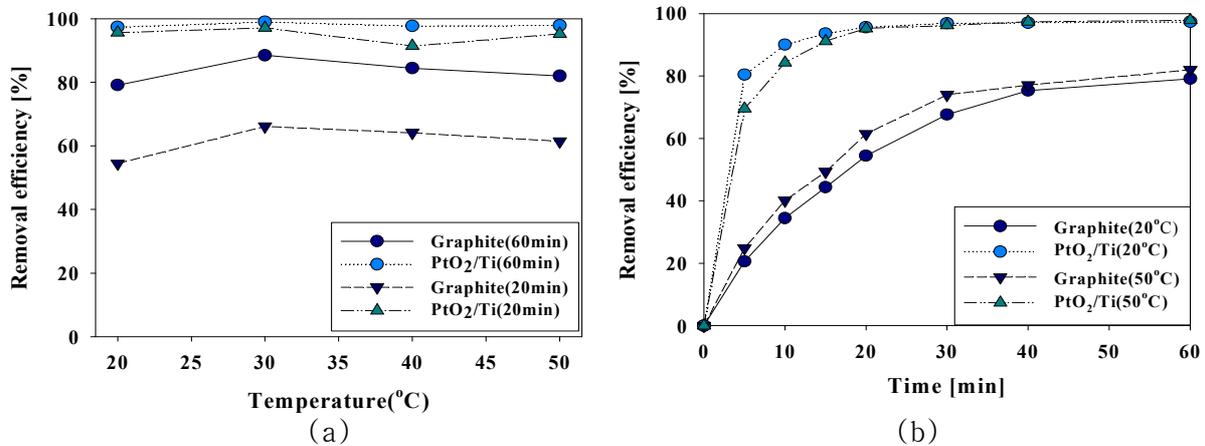


Fig. 5 Effect of reaction temperature on the electrochemical degradation of CI Direct blue 15, (Condition: NaCl concentration = 17.1 mM, Current density = 25.0 mA/cm², pH = 5)

반응 온도를 20, 30, 40, 50 °C로 각각 유지하여 실험을 수행하였다. 각 온도조건에서의 색도 제거 효율 변화는 Fig. 5(a), (b)에서 볼 수 있듯이 제거효율은 반응 온도에 큰 영향을 받지 않는다는 것을 알 수 있다. 하지만 온도에 따른 제거효율의 편차가 상대적으로 큰 graphite 전극의 graph Fig. 5 (a)를 보게 되면 20 °C 보다 30, 40, 50 °C 에서의 제거효율이 높게 나타나므로 상대적으로 저온보다는 고온에서의 제거효율이 높음을 알 수 있다. 하지만 20, 30, 40, 50 °C 모두 큰 편차가 보이지 않으므로 일정 온도 이상에서는 제거효율을 향상시키기 위해 특정 온도를 유지하려 하는 노력이 필요하지 않음을 알 수 있다. 따라서 온도의 변화보다 전극의 종류에 따른 제거효율차가 뚜렷하므로 PtO₂/Ti 전극을 했을 시에 graphite 전극보다 초기와 후반부 모두 제거효율이 높게 나타남을 알 수 있다.

참고문헌

1. The society of dyes and colourists, Colour Index, 2.
2. N. K. Pazarlioglu, R. O. Urek, F. Ergun, 2005, Biodecolourization of Direct Blue 15 by immobilized Phanerochaete chrysosporium, Process Biochemistry, 40 : 1923-1929.
3. K. Kumar, S. S. Devi, K. Krishnamurthi, D. Dutta, T. Chakrabarti, 2007, Decolorisation and detoxification of Direct Blue-15 by a bacterial consortium, Bioresource Technology, 98 : 3168-3171.
4. A. Wang, J. Qu, H. Liu, J. Ge, 2004, Degradation of azo dye Acid Red 14 in aqueous solution by electrokinetic and electrooxidation process, Chemosphere, 55 : 1189-1196.
5. Chen, F. Gao, G. Chen, 2005, Comparison of Ti/BDD and Ti/SnO₂-Sb₂O₅ electrodes for pollutant oxidation, Journal of Applied Electrochemistry, 35:185-191.