

PF7) 산화물 전극을 이용한 Rhodamine B의 탈색

박영식*, 김동석¹

대구대학교 보건과학부, ¹대구가톨릭대학교 환경과학과

1. 서 론

전극을 이용하는 전기화학적 폐수처리는 침출수 등의 난분해성 유기물질과 페놀, 시안 등의 유해물질이 함유된 폐수 등 많은 종류의 폐수에 대한 처리 가능성이 연구되었다. 전기화학적 수처리 방법은 철이나 알루미늄 등 전기분해에 의해 이온이 용출되는 전극을 사용하거나 불용성 전극(DSA, Dimensionally Stable Anode)를 사용한 전기분해 등이 있는데, 전기화학적 수처리는 장치의 크기에 비하여 처리능력이 뛰어나고 반응의 제어가 용이하며, 부하변동 및 수온변동에 강한 장점이 있다(길대수 등, 2000) 분해성 전극은 전극 자체가 분해되어 현탁, 용존 및 콜로이드성 물질로 수산화물을 형성하게 되어 zeta 전위가 낮기 때문에 응집, 흡착 및 침강 특성이 우수하여 주로 인 제거(이병학 등, 2004), 매립장 침출수 제거, 중금속 제거(Gao et al., 2005) 등 주로 전기응집-전기부상(electrocoagulation-electroflotation)을 이용한 수처리에 이용되어 왔다. 반면 불용성 전극은 산소나 염소 발생에 대한 과전압이 비교적 낮으며 전극의 수명이 길어 수용액에서 염소나 산소를 생산하기 위한 목적으로 많은 관심을 받고 있으며, 전극 표면에서 전자의 이동에 의해 오염물이 파괴되는 직접 분해와 산소가 발생하는 전위 전후에서 발생하는 하이드록실라디칼(OH·), 하이드로퍼 옥시칼(HOO·), 과산화수소(H₂O₂) 및 오존(O₃) 등의 산화물질에 의한 간접 분해에 의해 난분해성 유기물 자체를 이산화탄소와 물로 변화시켜 대상 유기물을 연소(incineration)시킬 수 있는 것으로 알려져 최근 폐수 처리 분야에서 많은 관심을 불러일으키고 있다(김홍석 등, 2004). 염색폐수는 난분해성 물질과 독성 물질의 함량이 높고 오염물질의 부하변동 및 pH 변화 등이 심하며 수온이 높아 일반적인 처리시스템으로는 효과적으로 처리하기 어렵다. 염색폐수를 효과적으로 처리하기 위한 연구는 기존 시스템을 중심으로 공정을 개량하는 연구들이 많이 수행되고 있으며, 전기화학적 방법에 의한 처리방법 연구도 진행되고 있다(유재정 등, 2003).

본 연구는 상업적으로 이용가능하거나 연구된 1, 2 및 3성분계 불용성 전극을 이용하여 양이온 염료인 Rhodamine B (RhB)의 전기분해 처리에서 최고 성능을 가지는 전극을 선정하고 선정된 전극에서 RhB 분해에 미치는 영향인자를 고찰하여 난분해성 물질 처리를 위한 전극 개발의 기초자료로 활용하고자 하였다.

2. 재료 및 실험 방법

Pt/Ti 전극과 Ir/Ti 전극은 현재 상업적으로 이용 가능하므로 Ti 메쉬 두께가 0.5 mm이고 코팅 두께가 5 μm인 메쉬형 도금 전극(현성 E&E)을 구매하여 사용하였다. Ru/Ti,

Sn-Sb/Ti, Ir-Sn-Sb/Ti, Ru-Sn-Sb/Ti 및 Ru-Sn-Ti/Ti 전극은 제조하여 사용하였다.

전극은 두께가 0.5 mm이고 35 x 35 mm (면적: 7.69 cm²), 63 x 115 mm (면적 : 41.05 cm²) 크기의 메쉬형 전극을 사용하였다.

실험에 사용한 반응기는 반응조인 전극 반응기와 반응 용액의 냉각조인 순환 반응기로 구성된 순환식 회분반응기로 아크릴로 제작하였으며, 2 L의 반응 부피를 가졌다(Fig. 1). 1쌍의 전극을 전극 반응기에 장착하고 반응시켰으며 반응한 폐수는 전극 반응기 양쪽에서 순환 반응기로 자유낙하로 공급하였다. 순환 반응기에서 펌프를 이용하여 전극 반응기 하부로 폐수를 공급하여 순환되도록 하였으며, 순환 반응기내에서의 교반을 위하여 에어펌프를 사용하여 1 L/min의 공기를 주입하였다. 순환 반응기의 온도를 20±2℃로 유지하기 위하여 플라스틱 외피를 사용한 아이스볼을 투입하여 온도를 조절하였다. 직류 전원공급기 (Hyunsung E&E, 50V 20A)를 이용하여 전극에 전원을 공급하였다. 실험에 사용한 전극은 양극과 음극 모두 같은 재질을 사용하였다.

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

3. 결과 및 고찰

전극 간격을 2 mm로 고정하고 전해질인 NaCl 0.5 g/L를 투입한 뒤 순환 반응기로 공기를 1 L/min으로 공급하면서 전류를 10 A (전류밀도: 0.244 A/cm²)로 유지하면서 7 종류 전극의 시간에 따른 RhB 농도감소를 Fig. 2에 나타내었다. 모든 전극에서 RhB가 빠른 속도로 감소하는 경향을 나타내었다. 반응 2분 후 RhB 농도를 고찰한 결과 RhB 농도는 Ru-Sn-Ti/Ti ≃ Ru-Sn-Sb/Ti > Ir-Sn-Sb/Ti > Sn-Sb/Ti > Ru/Ti > Ir/Ti >

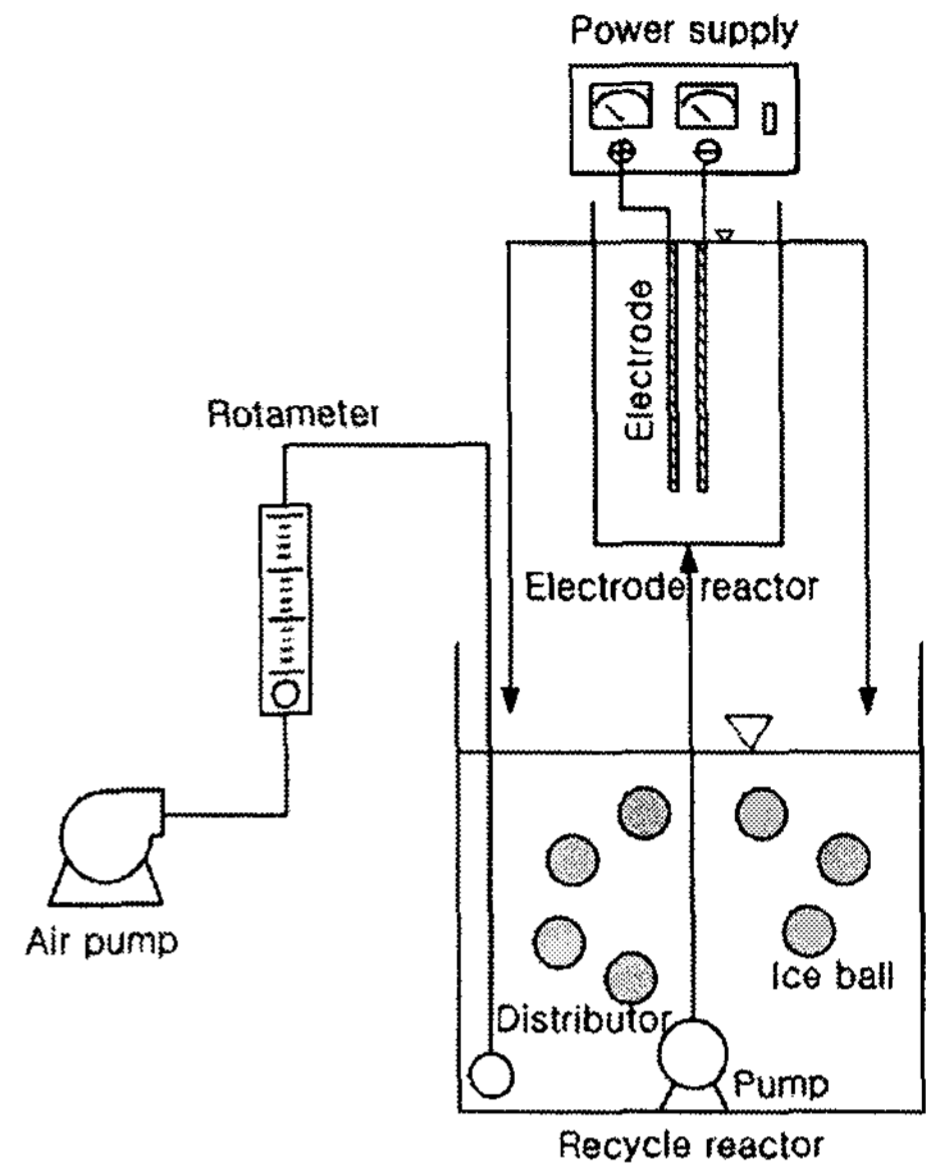


Fig. 1. Schematic diagram of reactor system.

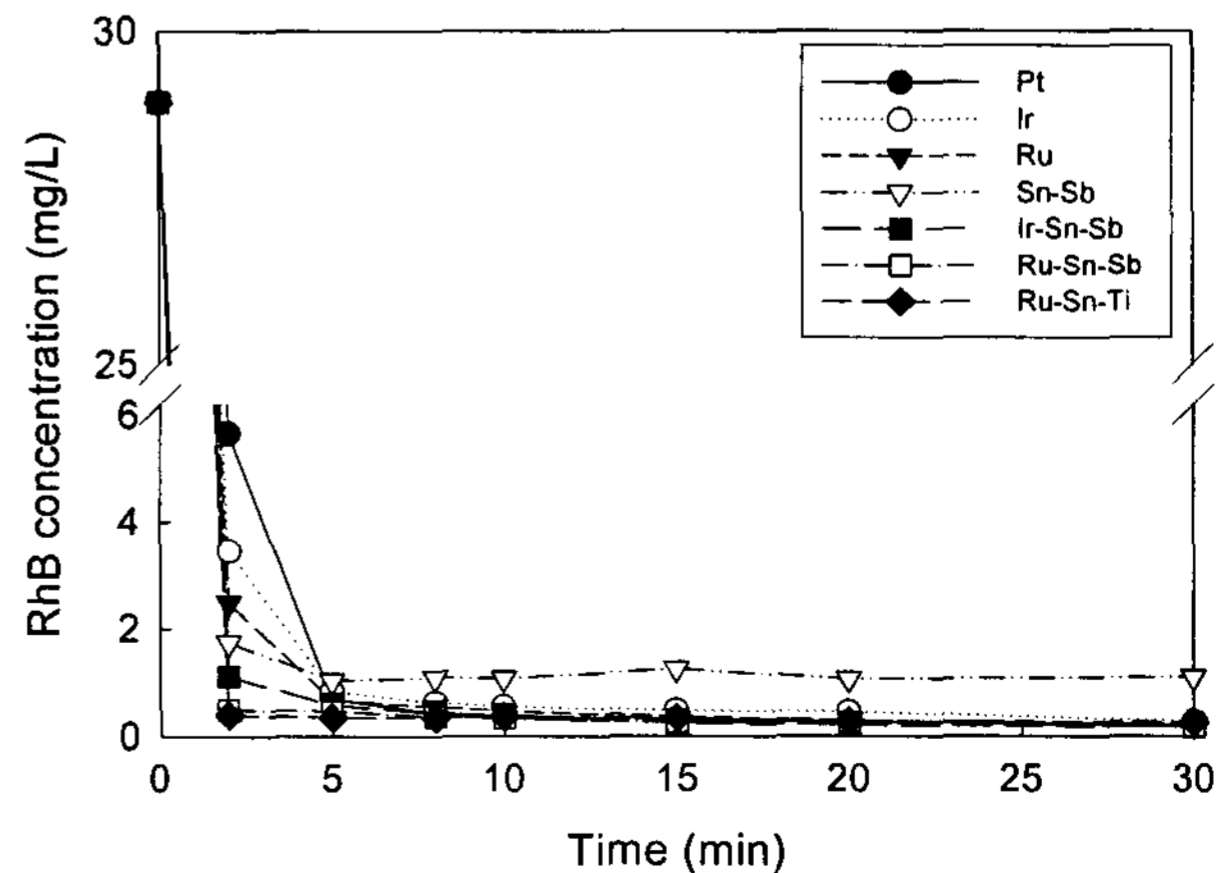


Fig. 2. Effect of electrode materials on the RhB concentration.

Pt/Ti 전극의 순서로 나타나 3성분계 > 2성분계 > 1성분계 전극의 순서로 나타났다. Ru를 사용한 전극이 Ir을 사용한 전극보다 1성분계와 3성분계 모두 성능이 우수한 것으로 나타났다.

Sn-Sb/Ti 전극은 초기 반응은 1성분계 전극보다 빠른 것으로 나타났으나 30분의 반응 시간후 최종 농도가 다른 전극보다 높은 것으로 나타났다. 실험한 7종류의 전극 중 Ru-Sn-Ti/Ti 전극의 초기 반응이 가장 빠르기 때문에 향후 실험은 Ru-Sn-Ti/Ti 전극 사용하여 실험하였다.

전극 간격은 전극을 이용한 반응기에서 운전에 주요한 요소이다. 7 종류의 전극 중 RhB 분해율이 가장 높았던 Ru-Sn-Ti/Ti 전극을 사용하여 전해질로 NaCl 0.5 g/L를 투입한 뒤 순환 반응기로 공기를 1 L/min으로 공급하면서 전극 간격을 2, 4, 6, 및 8 mm로 변화시키면서 RhB 농도변화를 Fig. 3에 나타내었다.

Fig. 3에서 보듯이 전극 간격이 좁을수록 RhB 농도감소 속도가 빠른 것으로 나타났으나 최종 RhB 농도는 차이가 없었다. 그러나 전극 간격이 2 mm에서는 설정 전류인 10 A (전류밀도: 0.244 A/cm^2)를 유지할 수 있었으나, 4 mm에서는 8.9 A (전류밀도: 0.216 A/cm^2), 6 mm는 5.1 A (전류밀도: 0.124 A/cm^2), 8 mm는 4.8 A (전류밀도: 0.117 A/cm^2) 전류가 줄어드는 것으로 나타났고, 평균 전압은 각각 19.6 V, 26.5 V, 47.6 V 및 50.8 V로 나타나 전력은 196 W, 236 W, 243 W 및 244 W로 나타났다. 전극 간격이 멀어질수록 소요되는 전력량이 높아지는 것으로 나타나 전극 간격이 좁을수록 RhB 농도감소와 전력 면에서 유리한 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 Ir/Ti 전극을 이용한 유기물 제거에서 전극 간격 증가에 따라 COD 제거율이 낮아졌다고 보고한 길 등(2000)의 결과와 유사한 결과를 얻었으며, 전극 간격이 커질수록 전극 사이의 전기 저항이 높아져 전기 전도도가 낮아지고 높은

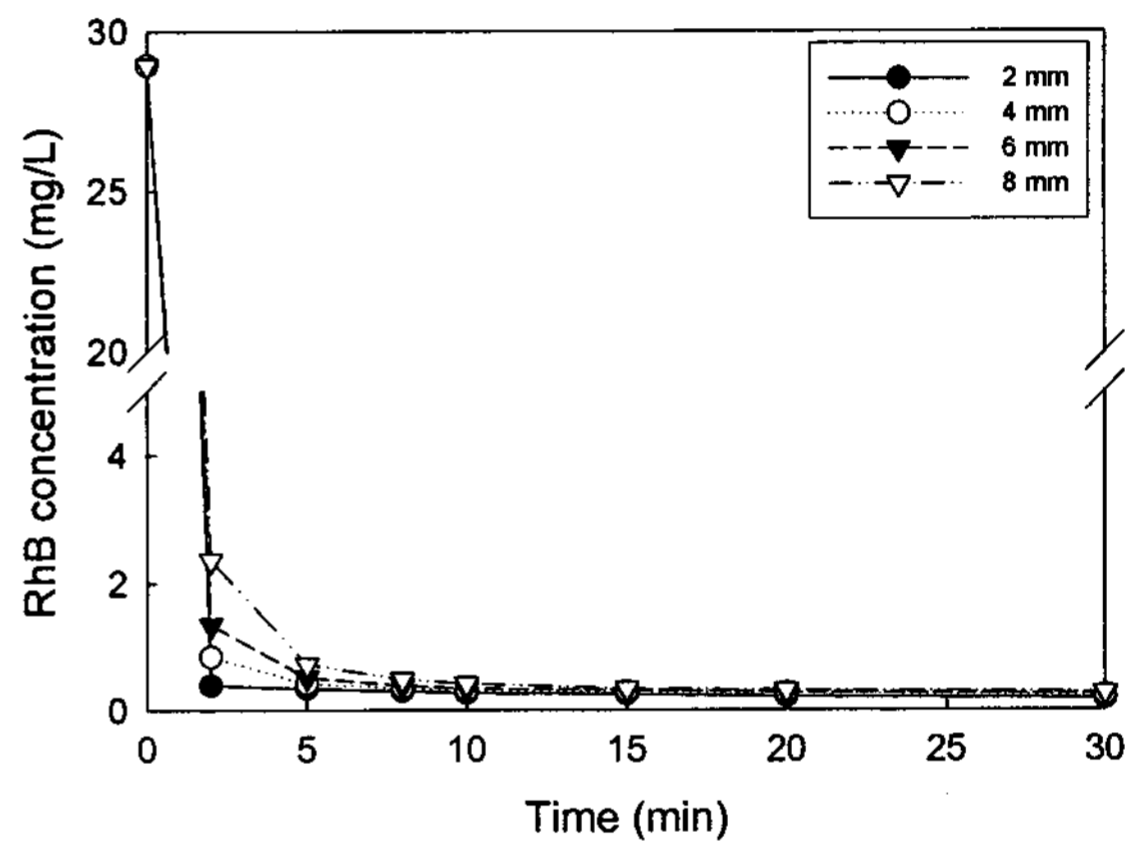


Fig. 3. Effect of electrode distance on the RhB concentration.

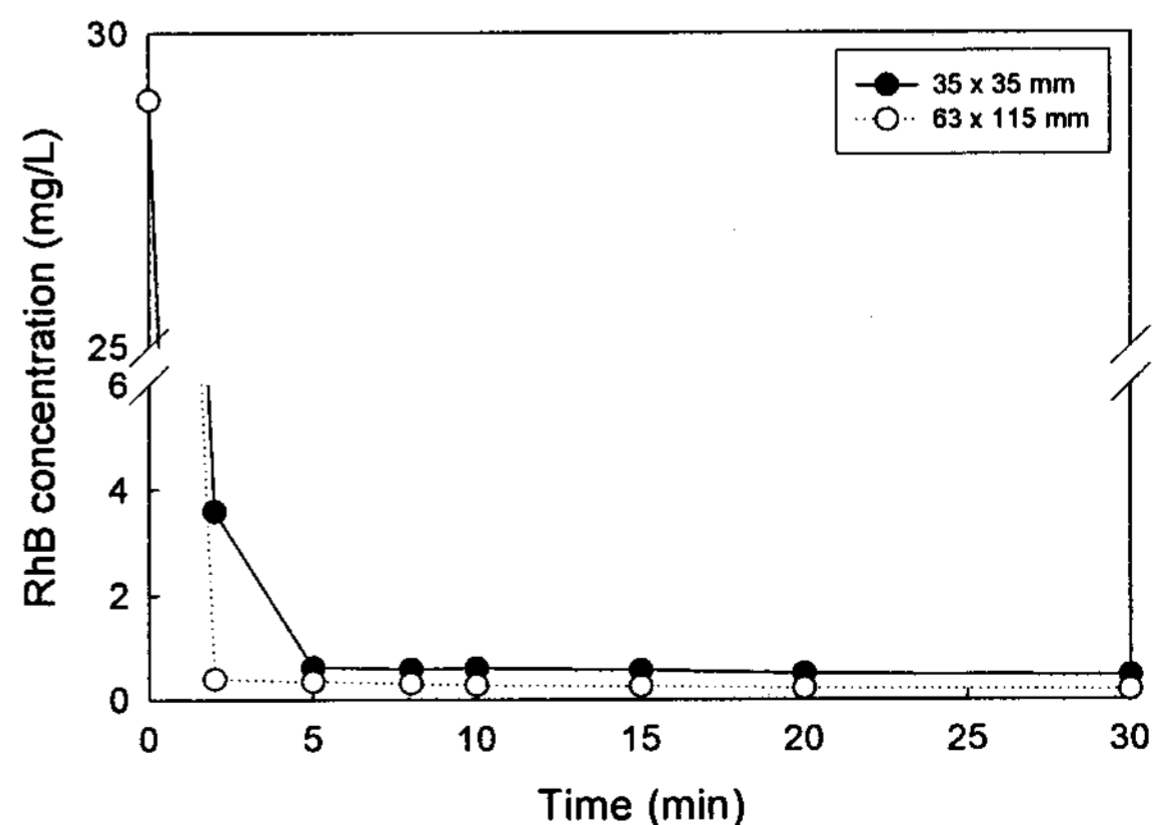


Fig. 4. Effect of electrode area on the RhB concentration.

전압이 요구되어 전력손실이 증가되는 것으로 사료되었다.

전극 면적은 제작비와 관련된 중요한 설계요소이고, 전류밀도와도 관련 있기 때문에 운전인자와도 관련이 있다. Fig. 4에 전극 크기가 63 x 115 mm (면적 : 41.05 cm²)와 35 x 35 mm (면적: 7.69 cm²)인 Ru-Sn-Ti/Ti 전극을 사용하여, 전극 간격을 2 mm, NaCl 농도를 0.5 g/L, 공기 공급량을 1 L/min, 전류를 10 A로 유지하면서 RhB 농도변화를 나타내었다. 그림에서 보듯이 면적이 큰 전극이 초기 반응이 빠르고 나타났고 최종농도도 약간 낮은 것으로 나타났으나 차이는 크지 않았다. 넓은 전극의 전류밀도는 0.244 A/cm²이었다. 반면, 좁은 전극의 경우 5.1 A이상의 전류를 적용시킬 수 없었으며, 이때의 전류밀도는 0.663 A/cm² 나타났었다. 두 전극의 전력량은 각각 196 W와 255 W로 나타났었다. 즉, 전극 면적을 적게 하는 경우 반응면적이 적지만 전류밀도가 높기 때문에 성능의 차이는 크지 않으나 요구 전력량이 높기 때문에 적절한 크기의 전극이 필요한 것으로 사료되었다.

4. 요약

난분해성 유기물 처리에 적절한 불용성 전극을 선정하고 성능을 평가하기 위하여 1-3 성분계 전극을 이용하여 양이온 염료인 Rhodamine B (RhB)의 전기분해 처리에서 다음의 결론을 얻었다.

1) 반응 2분 후 RhB 농도를 고찰한 결과 RhB 농도감소는 Ru-Sn-Ti/Ti ≃ Ru-Sn-Sb/Ti > Ir-Sn-Sb/Ti > Sn-Sb/Ti > Ru/Ti > Ir/Ti > Pt/Ti의 순서로 나타나 3성분계 > 2성분계 > 1성분계 전극의 순서로 나타났다. Ru를 사용한 전극이 Ir을 사용한 전극보다 1성분계와 3성분계 모두 성능이 우수한 것으로 나타났다. 기존 전극으로 가장 많이 사용되고 있는 Pt 전극의 성능은 가장 떨어지는 것으로 나타났다.

2) RhB 초기 농도감소 속도는 전극 간격이 좁은 것이 유리한 것으로 나타났으나 최종 농도는 비슷하였다. 전극 간격이 좁을수록 전력 면에서 유리한 것으로 나타났다. 면적이 큰 전극이 초기 반응이 빠르고 나타났고 최종농도도 약간 낮은 것으로 나타났으나 차이는 크지 않았다. 면적이 좁은 경우 반응면적이 적지만 전류밀도가 높기 때문에 성능의 차이는 크지 않으나 면적이 적은 전극의 경우 요구 전력량이 높기 때문에 적절한 크기의 전극이 필요한 것으로 사료되었다.

참 고 문 헌

- 길대수, 이병현, 이제근, 2000, 전기분해에 의한 고농도 유기물질 제거 특성, 대한환경공학회지, 22(2), pp. 251-264.
- 이병학, 박금숙, 2004, 철 전극 전기 분해 법에 의한 폐수 중의 인 제거 특성연구, 단국대학교 신소재기술연연구소 신소재연구논집, pp. 129-139.
- 김홍석, 서인석, 최일환, 김연권, 김지연, 이진영, 2004, 용존공기를 이용한 소독능 향상 전기 분해 소독공정개발, 한국물환경학회.대한상하수도학회 공동추계학술발표회 논문집, pp. 625-628.
- 유재정, 민경석, 박정민, 서정관, 2003, 반응성염료 폐수의 전기분해 처리와 처리수 수질 평

가, 대한토목학회논문집, 23(1B), pp. 31-37.

Gao, P., Chen, X., Shen, F., and Chen, G., 2005, Removal of Chromium(VI) from Wastewater by Combined Electrocoagulation-electroflotation without a Filter, Separation and Purification Technology, 43, pp. 117-123.