

전기응집/부상 공정을 이용한 TiO₂ 폐수의 탁도 제거

박 영 식

대구대학교 보건환경전공

(2009년 9월 22일 접수; 2009년 10월 6일 수정; 2009년 11월 6일 채택)

Turbidity Treatment of TiO₂ Wastewater by Electrocoagulation/flotation Process

Young-Seek Park

Department of Health & Environment, Daegu University, Gyeongbuk 712-830, Korea

(Manuscript received 22 September, 2009; revised 6 October, 2009; accepted 16 November, 2009)

Abstract

The separation of TiO₂ wastewater carried out by an electrocoagulation/flotation process, which had various operating parameters. The effect of electrode material (aluminum and four dimensionally stable electrode), applied current (0.07~0.5 A), electrolyte concentration (0~1 g/L), solution pH (3~11), initial turbidity (1000~20000 NTU) and suspended solid concentration (5000~25000 mg/L) were evaluated. Turbidity removal efficiency of the soluble anode (aluminum), which could produce metal ions, was higher than that of the dimensionally stable electrode. Considering operation time, turbidity removal and electric power, optimum current was 0.19 A. The more NaCl dosage was high, the less electric power was required. However, optimum NaCl concentration was 0.125 g/L considered removal efficiency, operation time and cost. Initial TiO₂ concentration did not affected turbidity removal on the electrocoagulation/ flotation operation. The electrocoagulation/flotation process was proved to be a very effective separation method in the removal of TiO₂ from wastewater.

Key Words : Electrocoagulation/flotation, Aluminum electrode, TiO₂, Turbidity, Current

1. 서 론

TiO₂는 SiO₂ 및 CaCO₃와 같은 백색 안료에 비하여 은폐성과 백색성이 뛰어나 도료, 고분자, 제지, 고무, 화장품 등에 광범위하게 사용되고 있으며, 사용량도 전 세계적으로 연간 400만 톤 이상 사용되고 있다. TiO₂는 전체 사용량의 약 50%가 자동차용, 건축용, 공업 제품 등의 유기용제계의 도료 및 수성 에멀전계 도료로 사용되고 있으며 약 20%는 고분자의 첨가제

로 사용되고 있고 나머지는 제지 및 고무용 등으로 사용되고 있다^{1,2)}. 그러나 각종 산업에서 사용되는 TiO₂는 입자의 크기가 수십 nm~수 μm으로 미세하여 자연 침전이 거의 발생하지 않으며 TiO₂ 특성 중 가장 중요한 백색도가 높아 폐수의 탁도를 높일 수 있는 2차 오염의 가능성이 커서 효과적인 처리방법이 필요하다³⁾.

TiO₂를 제거하기 위하여 현재 현장에서 적용하거나 연구되고 있는 처리방법으로는 침전, 용존공기부상(DAF, dissolved air flotation), 전기부상 공정(EF, electroflotation) 등이 있다. 세 처리 공정 중 침전 공정은 부지가 많이 소요되고 처리효율이 낮으며, 처리에 많은 시간이 필요하여 최근에는 거의 사용하지 않고

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

있는 실정이다. 용존공기부상 공정은 적은 크기의 반응조에서도 처리효율이 높아 최근 정수장 등의 조류 제거용으로 사용되고 있지만 처리대상 입자의 크기가 10~2,000 μm 범위에 있을 때 효과적이며 TiO_2 같은 미세입자를 용존공기부상 공정으로 처리할 경우 처리효율이 낮은 것으로 보고 되고 있다^{4,5,6}.

전기부상 공정은 폐수 중에 설치된 양극과 음극의 전극판에 전류를 통과시켜 물의 전기분해로부터 발생되는 수소와 산소기포를 이용하여 고액분리를 행하는 기술로 발생하는 기포의 크기 분포가 비교적 작고, 복잡한 기계 장비가 필요하지 않기 때문에 최근 들어 각광을 받고 있는 기술이다^{4,7}. 전기부상법에서 발생한 미세기포 크기는 약 20~40 μm 정도로 기포 크기가 통상 40~60 μm 라고 알려진 용존공기부상 공정에서 발생하는 기포보다 크기가 작기 때문에 TiO_2 의 처리에 적용 가능한 기술이라고 판단된다^{4,8}.

전기부상법은 철이나 알루미늄 등의 용해성 전극을 이용하거나 전극 성분이 분해 되지 않는 촉매성 산화물 전극(DSA, dimensionally stable anode)을 이용하여 기포를 발생시킨다. 용해성 전극은 전극 자체가 분해 되어 현탁, 용존 및 콜로이드성 물질로 수산화물을 형성하기 때문에 응집, 흡착 및 침강 특성이 우수하여 주로 인 제거, 매립장 침출수 제거, 중금속 제거 등 주로 전기응집/부상(electrocoagulation-electroflotation)을 이용한 수처리에 이용되어 왔다^{4,8,9}. 반면 촉매성 산화물 전극의 경우 발생하는 기포만을 이용하여 슬러지 농축 등에 주로 이용되는 것으로 알려져 있다^{4,10,11}.

본 연구는 TiO_2 폐수의 탁도를 제거하기 위하여 용해성 전극과 촉매성 산화물 전극의 성능을 비교하여 적절한 전극을 선정된 뒤, 전류, 전해질인 NaCl 농도, pH 및 초기 TiO_2 농도가 탁도 제거율에 미치는 영향을 고찰하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 실험재료 및 실험방법

실험에 사용한 TiO_2 는 M 제지에서 종이 제조에 사용하는 TiO_2 를 사용하였으며, TiO_2 25 g/L 수용액에 안정화제로 PVA를 1% 혼합하여 혼합액을 만든 후 혼합액

15 mL를 증류수에 혼합하여 탁도 2000 NTU의 용액 1.5 L를 만들었다.

실험에 사용한 전극은 35×35 mm이고, 지름이 4 mm인 구멍이 일정하게 뚫려 있는 알루미늄 판, Ti(티타늄), 티타늄 판에 Pt가 코팅된 Pt/Ti, Ru/Ti 및 Ru-Sn-Sb/Ti 전극을 양극과 음극으로 사용하였으며, 전극 간격은 2 mm이었다. 실험에 사용한 반응기는 아크릴로 제작하였으며, 반응 부피는 1 L이었다. pH 실험을 제외한 모든 실험은 수돗물을 사용하였으며, pH 조절은 NaOH와 H_2SO_4 를 이용하여 조절하였다. 응집제는 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$, $\text{FeCl}_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 및 음이온 고분자 응집제를 사용하였다. 샘플은 반응기 하부 2 cm 지점에 설치된 샘플 채취구에서 채취하여 분석에 사용하였다. 직류 전원공급기(Hyunsung E&E, 50V 20A)를 이용하여 전극에 전원을 공급하였다. 반응기에 NaCl이 첨가된 TiO_2 폐수 용액을 반응기에 투입하고 전원을 일정시간 공급하여 응집과 부상이 일어나게 한 뒤 전원을 끄고 용액 속에 남아있는 기포가 부상하는 시간인 부상시간은 10분으로 고정하여 실험하였다.

2.2. 분석 및 측정

TiO_2 폐수의 탁도는 탁도계(HACH, 2100P Turbidity meter)를 이용하여 측정하였다. TiO_2 폐수의 고형물 농도(suspended solid)는 standard methods에 따라 측정하였다¹².

3. 결과 및 고찰

3.1. 용해성 전극과 촉매성 산화물 전극의 성능 비교

Fig. 1에 전류를 0.5 A, 전해질인 NaCl 농도를 0.5 g/L, 전원을 끈 후 기포에 의한 부상시간을 10분으로 유지하면서 전기응집에 해당하는 전원공급시간을 0~10분으로 변화시켰을 때 용해성 전극인 알루미늄과 촉매성 산화물 전극인 Ti, Pt/Ti, Ru/Ti 및 Ru-Sn-Sb/Ti 전극에 따른 탁도 제거율을 Fig. 1 (a)에 나타내었다.

그림에서 보듯이 기포발생량이 많아지는 전원공급시간이 증가할수록 모든 전극에서 탁도 제거율이 증가하였다. 용해성 전극인 알루미늄 전극은 촉매성 산화물 전극인 다른 네 종류의 전극보다 빠른 시간 내에 높은 탁도 제거율을 얻을 수 있는 것으로 나타났다.

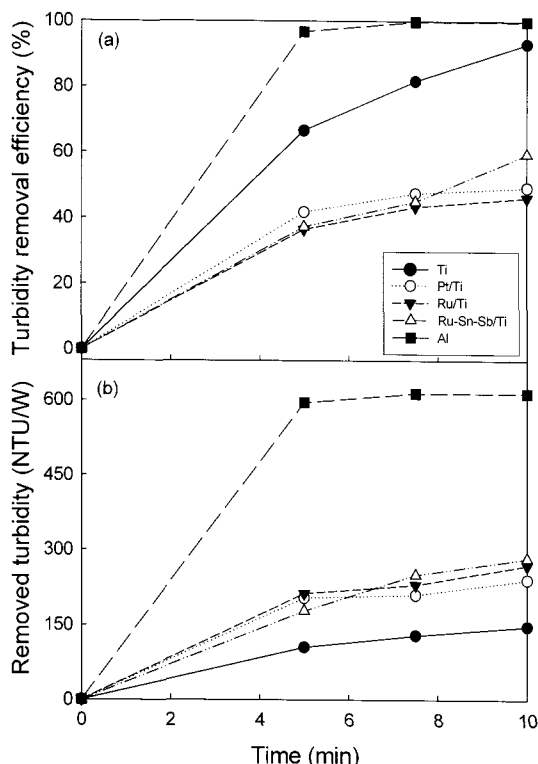


Fig. 1. Effect of electrode type on the turbidity removal(initial turbidity, 2,000 NTU; current, 0.5 A; NaCl 0.5 g/L): (a) turbidity removal efficiency (b) removed turbidity per W.

네 종류의 촉매성 산화물 전극 중 Ti 전극의 탁도 제거율이 높은 것으로 나타났으나 전극을 구성하고 있는 성분이 달라 같은 전류를 흘려주기 위해 각 전극에 걸리는 전압은 다르므로 전압을 고려한 전력(W)당 제거된 탁도를 Fig. 1(b)에 나타내었다. W당 제거된 탁도에서도 알루미늄 전극의 제거 탁도가 가장 높았으며 다른 촉매성 산화물 전극의 경우 큰 차이를 보이지 않았다. 그러나 Ti 전극의 경우 전압이 높아 W당 제거 탁도가 가장 낮은 것으로 나타났다.

TiO_2 와 같은 폐수의 탁도를 제거하기 위해서는 촉매성 산화물 전극에서 발생하는 기포만으로는 처리하기가 어렵고, 응집제 없이 기포만을 이용하는 용존공기부상 공정에서는 탁도제거가 어렵다고 보고한 독고¹³⁾의 연구결과와 비교할 때 기포발생 방법은 다르지만 같은 결과를 얻었다. Al 전극의 경우 7.5분의 전원

공급시간이면 목표수질에 가까워 향후 실험은 전원공급시간을 7.5 분으로 고정하여 실험하였다.

Fig. 1에서 기포가 발생하고 양극에서 알루미늄 이온이 용출되는 알루미늄 전극이 기포만 발생하는 촉매성 산화물 전극보다 탁도 제거율이 높은 것으로 나타났다. 따라서 촉매성 산화물 전극에 응집제 첨가시 용해성 전극과 같은 응집과 부상 효과를 얻을 수 있다고 판단하여 Al, Fe 및 음이온 고분자 응집제 첨가가 탁도 제거율에 미치는 영향을 고찰하였다. Fig. 2에 Pt/Ti 전극을 양극과 음극에 사용하고 전류 0.5 A, NaCl 0.5 g/L, 부상시간 10분 및 전원공급시간 7.5분으로 고정한 조건에서 각 응집제 첨가에 따른 탁도 제거율을 Fig. 2에 나타내었다.

Al의 경우 무첨가시의 47.5%의 제거율에서 5 mg/L 첨가시 85%로 증가한 뒤 5 mg/L 이상의 Al 첨가시 제거율이 서서히 증가하여 100 mg/L 첨가시에도 90.2%의 제거율을 나타내었다. Fe의 경우도 1 mg/L 첨가시 제거율이 89.6%까지 증가하였으며 5 mg/L 첨가시 제거율이 94.8%까지 증가하여 20 mg/L 첨가시 제거율이 97.1%로 도달된 뒤 더 이상의 Fe 첨가에도 제거율은 더 이상 증가하지 않았다. 반면 음이온 고분자 응집제의 경우 다른 응집제와는 달리 1 mg/L 첨가시 78.3%의 제거율을 나타낸 뒤 제거율이 빠르게 감소하는 경향을 나타내었다. Al 전극을 이용한 전기응집/부상 공정의 경우 전극에서 용해된 알루

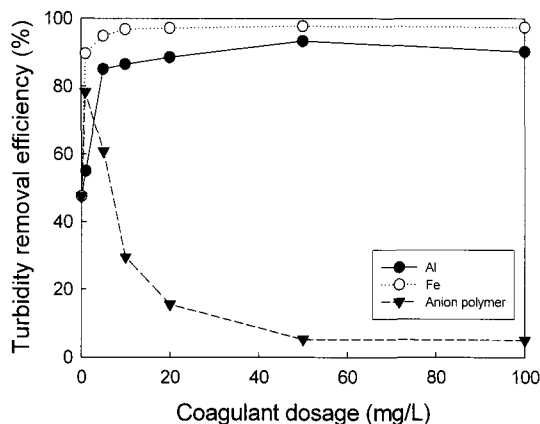


Fig. 2. Effect of coagulant on the turbidity removal (electrode, Pt/Ti; initial turbidity, 2,000 NTU; current, 0.5 A; NaCl 0.5 g/L).

미늄과 TiO_2 가 응집한 후 전극에서 발생하는 기포와 함께 상승하면서 응집된 플록이 하부로 내려오지 않지만 Pt/Ti 전극을 이용하고 Al을 용액 중에 첨가한 경우는 플록이 용액 중에서 떠다니는 것이 관찰되었는데 이들 플록이 기포에 의해 완전히 부상하지 않고 일부 침전하고 일부는 배출수에 딸려 나오기 때문에 Al 전극을 사용한 경우보다 처리율이 낮은 것으로 판단되었다. 같은 전류, 전해질 및 전원공급시간에서 알루미늄 전극에서 용해되는 알루미늄은 68~100 mg/L로 나타나 알루미늄 전극을 이용하는 것이 촉매성 산화물 전극과 응집제를 이용하는 것보다 성능이 우수한 것으로 나타났다. Fe를 이용한 응집제 첨가 실험의 경우 소량의 첨가만으로 세 가지 응집제 중에서 가장 높은 제거율을 나타내었으나 철로 인한 색을 띄는 경우가 있어 실험에 주의를 요하였고, 목표 수질에는 도달하지 못하는 것으로 나타났다.

3.2. 탁도 제거율에 미치는 전류의 영향

전극을 알루미늄으로 선정된 뒤 최적 전류 조건을 선정하기 위하여 전류를 0.07~0.5 A로 변화시키면서 전원공급시간에 따른 탁도 제거율을 Fig. 3에 나타내었다. 목표 탁도 제거율을 99.5%(유출수 탁도 10 NTU 이하)로 정하고 목표 수질에 도달하는 시간을 측정하니 0.07 A는 20분간의 전원공급시간에서 목표 수질에 도달되지 못하였고, 0.13 A는 20분, 0.19 A는 12.5분, 0.25 A는 10분, 0.5 A는 7.5분이 소요되어

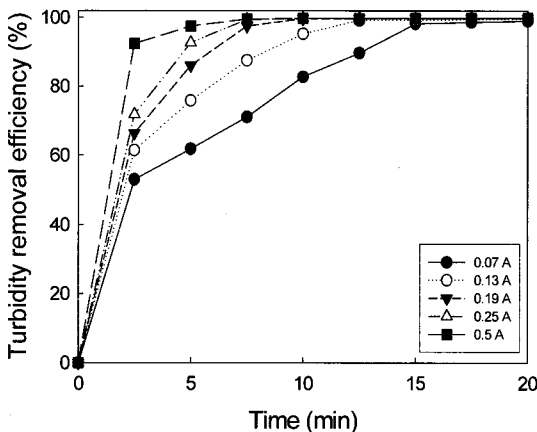
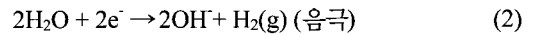


Fig. 3. Effect of current on the turbidity removal(electrode, Al; initial turbidity, 2,000 NTU; NaCl, 0.5 g/L).

전류가 증가할수록 목표수질에 도달되는 시간이 감소하였다. 시간과 탁도 처리율 및 전력을 고려한 결과 0.19 A가 최적의 조건인 것으로 사료되었다.

박과 한¹⁴⁾은 알루미늄 전극을 사용한 전해부상 공정에서 기포 크기는 전압에 관계없이 19~23 μm 로 비슷한 분포를 보였다고 보고하였다. 조¹⁵⁾ 등은 촉매성 산화물 전극을 이용한 기포 크기 측정에서 수돗물과 인공하수 모두 전도도, 전류밀도와 상관없이 기포 크기가 일정하다고 보고하였다. 김과 박⁸⁾은 촉매성 산화물 전극을 이용한 기포 발생량 측정에서 전류가 증가할수록 기포 발생량이 증가한다고 보고하였으며, 한 등¹⁶⁾은 알루미늄 전극을 사용한 기포 발생량 측정 실험에서 기포 발생량은 전류에 비례한다고 보고하였다.

상기 다른 연구자들의 연구결과로 볼 때 전류 증가에 따른 기포 크기는 큰 변화가 없는 것으로 판단되었고 전류 증가에 따른 기포 발생량 증가가 탁도 제거율에 영향을 미친다고 사료되었다. 또한 전류가 증가하면서 다음과 같은 양극과 음극에서의 반응에서 생기는 Al과 OH⁻ 이온의 작용에 의해 영향을 받는 것으로 사료되었다.



즉, 전류의 증가는 양극인 알루미늄의 전해에서 발생하는 알루미늄 이온이 응집에 더 많이 참여하며, 음극에서 발생한 OH⁻가 TiO_2 입자를 하전 중화시키고 TiO_2 플록을 더 큰 플록으로 만들어 탁도 제거에 플러스 요인으로 작용하는 것으로 사료되었다^{4,5)}.

3.3. 탁도 제거율에 미치는 전해질 농도의 영향

NaCl과 같은 전해질은 전기전도도와 직접 관계되고, 전압을 감소시켜 총 전력량을 감소시키는 역할을 하고, 전기분해 반응에서는 유리염소와 이산화염소와 같은 산화제가 발생하여 반응하는 등 전기분해 반응에서 중요한 운전요소이다¹⁷⁾. 전류 0.19 A, 전원공급시간을 12.5분으로 유지한 조건에서 NaCl 농도 변화에 따른 탁도 제거율을 Fig. 4에 나타내었다.

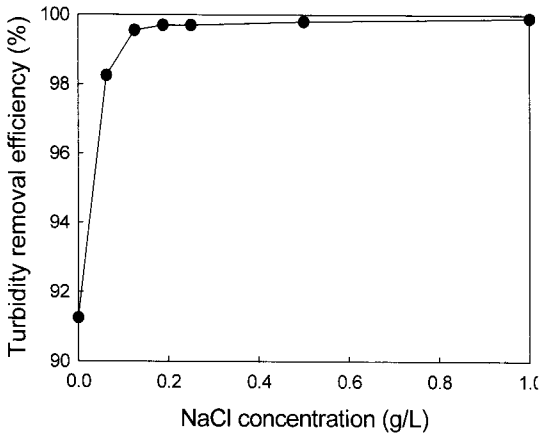


Fig. 4. Effect of NaCl concentration on the turbidity removal (electrode, Al; initial turbidity, 2,000 NTU; current 0.19 A).

NaCl이 첨가되지 않은 경우 탁도 제거율은 91.3%를 나타내었고, 목표로 정한 99.5%의 제거율은 얻기 위해서는 0.125 g/L의 NaCl이 필요한 것으로 나타났다. NaCl 농도에 따라 목표 수질인 10 NTU 이하의 탁도를 얻을 수 있는 전원공급시간을 측정된 결과 1 g/L과 0.5 g/L의 경우는 10분, 0.25 g/L와 0.125 g/L의 경우 12.5분이 소요되고 0 g/L의 경우 25분이 소요되는 것으로 나타났다. NaCl 무첨가시 0.19 A의 전류를 흘려주기 위해서 8.46 V가 필요하며, 0.25 g/L, 0.5 g/L 및 1 g/L의 경우는 각각 6.15, 3.41, 2.76 V로 나타났다. 이와 같이 NaCl 농도가 증가하면서 0.19 A의 전류를 흘려주기 위한 전압이 감소하고 목표 탁도 제거율을 얻기 위해 필요한 시간이 감소되는 등의 장점이 있는 것으로 나타났다. NaCl 첨가에 따른 기포 크기 변화는 2~3 μm 에 불과하고 NaCl 첨가량이 증가함에 따라 전압이 감소하여 전력이 감소하므로 기포발생량은 다소 줄어들었지만 차이가 크지 않았다고 보고한 김과 박⁸⁾의 보고로 볼 때 NaCl 첨가로 인한 기포 크기와 량의 변화는 전기응집/부상에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 사료되었다. 저 농도의 NaCl에서는 OH⁻의 발생량이 상대적으로 적어 플록의 생성이 잘 이루어지지 않지만 NaCl 농도가 증가하면서 OH⁻의 발생량 증가로 인한 플록 생성 증가 때문이라고 보고한 김 등⁵⁾의 보고로 볼 때 NaCl 첨가는 주로 전력과 관계되며 전력 감소와 증가에 따른 전기분해가 증가하거나 감소하며

이에 따라 알루미늄 전극의 용해가 관계되며 알루미늄 이온과 OH⁻의 증가와 감소가 결국은 플록 발생과 관계되는 것으로 사료되었다.

NaCl 첨가에 따른 비용 증가와 과 전기비용 감소 효과를 비교하기 위하여 다른 비용은 제외하고 같은 2,000 NTU의 탁도를 가진 TiO₂ 폐수 1톤을 처리하기 위한 비용을 NaCl 첨가량 0.125 g/L와 0.5 g/L에 대해 계산한 결과(계산 기준: 식용 소금 가격, 14,000원/30 kg; 산업용 전력 요금, 44.2원/kWh), NaCl 가격은 0.125 g/L와 0.5 g/L에 대해 58.25원과 233원이 소요되고, 반면 전기요금의 경우 각각 12.25원과 4.72원이 소요되어 NaCl 비용과 전기요금만 비교할 경우 NaCl 첨가가 전압을 낮춰주고 반응시간도 감소시키지만(2.5~5분), 비용의 측면을 같이 고려할 경우 0.125 g/L가 목표 제거율, 반응시간 및 비용의 측면에서 최적 첨가량이라고 판단되었다. 전기응집/부상을 이용한 옥배유(corn germ oil) 처리에서 NaCl 농도가 높으면 낮을 때에 비해 탁도 제거시간이 짧아지고, 농도가 낮으면 제거시간이 많이 소요된다고 보고한 김 등¹⁸⁾의 결과와 유사한 결과를 얻었다.

3.4. 탁도 제거율에 미치는 pH의 영향

전류 0.19 A, NaCl 0.125 g/L 및 전원공급시간을 12.5분으로 고정된 조건에서 용액의 pH가 탁도 제거율에 미치는 영향을 Fig. 5에 나타내었다. 산성영역의 pH에서는 낮은 탁도 제거율을 보이며 pH 증가

에 따라 탁도 제거율이 증가하여 중성인 pH 7에서 가장 높은 제거율을 얻었다. pH가 11로 변하면서 탁도 제거율이 99.64%에서 98.7%로 감소하여 중성 부근이 pH에서는 탁도 제거율이 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

알루미늄의 경우 일반적으로 pH 별로 존재하는 형태가 다르며, 그에 따른 제타전위도 달라지므로 제거 특성에 있어 pH의 영향이 큰 것으로 알려져 있다. 알루미늄의 경우 8부근의 pH에서 Al(OH)₃의 형태로 존재하는 Al이 많은데 이때가 등전점으로 가교작용에 탁도가 잘 제거되는 것으로 알려진 보고와 비교할 때 중성 부근에서 최적 제거율을 나타낸 본 연구와 비슷한 것으로 나타났다^{19,20)}. 미세 석영 입자의 전기응집/부상 처리에서 최적 pH는 7~10이며 산성영역의 pH

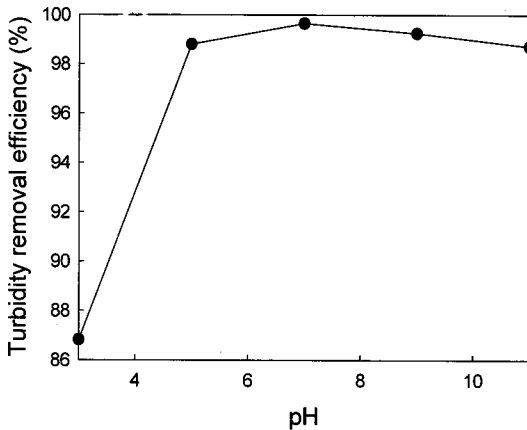


Fig. 5. Effect of pH on the turbidity removal(electrode, Al; initial turbidity, 2000 NTU; current, 0.19 A; NaCl, 0.125g/L).

에서 탁도 제거율이 염기성 영역보다 낮았다고 보고한 Kilić 등²¹⁾의 결과와 유사한 결과를 나타내었다.

3.5. 탁도 제거율에 미치는 초기 TiO₂ 농도의 영향

전류 0.19 A, NaCl, 0.125 g/L 및 전원공급시간을 12.5분으로 고정한 조건에서 초기 TiO₂의 탁도가 탁도 제거율에 미치는 영향을 Fig. 6(a)와 (b)에 나타내었다. Fig. 6(a)에 나타내었듯이 초기 탁도를, 1,000 ~ 20,000 NTU로 변화시켰을 때에도 탁도 제거율은 99.5%이상의 제거율을 나타내어 탁도로 초기 TiO₂ 농도의 영향을 고찰하기 힘들다고 판단하여 탁도 대신 고형물 농도로 변화시켜 고형물 농도를 5,000 ~ 25,000 mg/L(탁도로는 약 40,000~200,000 NTU에 해당)로 변화시켜 초기 TiO₂ 농도가 탁도 제거율에 미치는 영향을 Fig. 6(b)에 나타내었다. 초기 농도가 5,000 mg/L에서 99.5%의 제거율을 나타내었고, 25,000 mg/L에서도 99.6%의 제거율을 나타내어 전기응집/부상 공정의 성능이 우수한 것으로 나타났고, 초기 농도는 성능에 큰 영향을 주지 않은 것으로 사료되었다. 그러나 방류수의 수질은 5,000 mg/L에서는 25 mg/L(탁도, 208 NTU), 25,000 mg/L에서는 90 mg/L(탁도, 832 NTU)로 나타나 방류수 목표 수질이 높은 경우는 전원인가 시간이 좀 더 필요한 것으로 사료되었다. 이와 같은 결과는 알루미늄(+)-스테인리스 스틸 (-) 전극을 이용한 전기응집/부상 공정에서 농도가

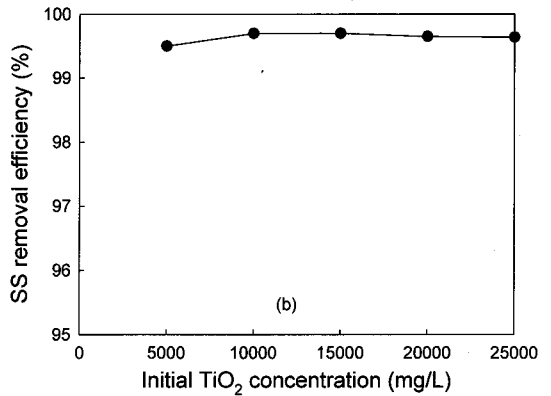
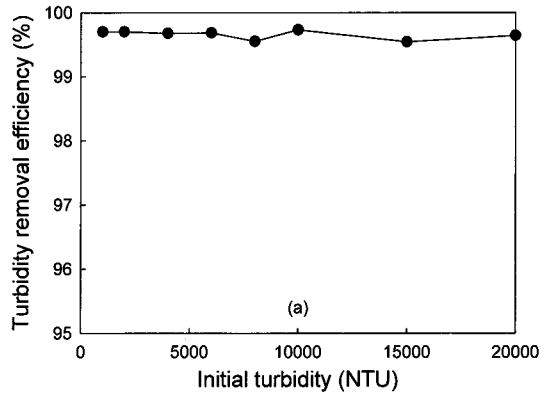


Fig. 6. Effect of initial TiO₂ turbidity(a) and concentration(b) on the turbidity removal(electrode, Al; current, 0.19 A; NaCl, 0.125g/L, pH, 7.18).

0.1~1.6 g/L인 kaolin 처리실험에서 초기 kaolin 농도에 관계없이 탁도 처리율이 일정하게 나타나 전기응집/부상 공정은 초기 오염물질 농도에 독립적인 공정이라고 보고한 Holt 등²²⁾의 연구와 유사한 결과를 얻었다.

4. 결 론

TiO₂ 폐수의 탁도를 제거하기 위하여 분해성 전극과 촉매성 산화물 전극 중 성능이 우수한 전극을 선정하고 탁도 제거율에 미치는 운전인자의 영향에 대하여 고찰하여 다음의 결과를 얻었다.

1) 용해성 전극인 알루미늄 전극의 탁도 제거율이 네 종류의 촉매성 산화물 전극보다 탁도 제거율이 높은 것으로 나타났다. 촉매성 산화물 전극에 Al, Fe 및

양이온 고분자 응집제 첨가한 경우의 탁도 제거율보다 알루미늄 전극을 사용한 경우의 탁도 제거율이 높게 나타났다.

2) 0.07 A의 낮은 전류만 목표수질에 도달하지 못하였고 0.13 A의 전류에서는 전류가 증가할수록 목표수질에 도달되는 시간이 감소하였다. 시간과 탁도 처리율 및 전력을 고려한 결과 0.19 A가 최적의 조건인 것으로 사료되었다.

3) NaCl 농도가 증가하면서 전압이 감소하고 목표 탁도 제거율을 얻기 위해 필요한 시간이 감소되는 등의 장점이 있는 것으로 나타났지만 NaCl 첨가에 따른 소요비용이 전력비보다 비싸므로 적절한 농도를 투입하는 것이 필요한데, 0.125 g/L가 목표 제거율, 반응시간 및 비용의 측면에서 최적 첨가량이라고 판단되었다.

4) 중성 부근이 pH에서 탁도 제거율이 높았으며, 초기 탁도 농도는 25,000 mg/L까지는 탁도 제거율에 미치는 영향은 적은 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 2009년도 대구대학교 교내연구비의 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고 문헌

- Golikova E. V., O. M. Rogoza, D. M. Shelkunov and Y. A. Chernoberezhskii, 1995, Electrosurface properties and aggregation stability of aqueous dispersion of TiO₂ and ZrO₂, *Colloid J.*, 57(1), 25-29.
- 김달중, 이광형, 권아영, 한무영, 2000, TiO₂의 응집 특성에 관한 연구, 대한상하수도학회·한국물환경학회 공동추계학술발표회논문집, 277-280.
- Mathur S., P. Singh and B. M. Moudgil, 2000, Advanced in selective flocculation technology for solid-solid separations, *Int. J. Miner. Process*, 58, 201-222.
- 박영식, 김동석, 2007, 전해부상 공정을 이용한 TiO₂ 폐수의 처리, 대구가톨릭대학교자연과학논문집, 5(1), 93-98.
- 김달중, 이광형, 권아영, 한무영, 2001, 전해부상에서의 TiO₂ 폐수처리에 대한 최적전전조건, 상하수도학회지, 15(1), 34-39.
- Hosny A. Y., 1996, Separating oil from oil-water emulsions by electroflotation technique, *Sep. Technol.*, 6, 9-17.
- 윤창근, 2005, 전해부상을 이용한 하수슬러지 고액분리의 최적화, 석사학위논문, 환경공학과, 성균관대학교, 서울.
- 김동석, 박영식, 2007, 전기부상공정에서 촉매성 산화물 전극에 따른 기포 발생량과 크기에 관한 연구, 한국환경과학회지, 16(10), 1189-1195.
- Gao P., X. Chen, F. Shen and G. Chen, 2005, Removal of chromium(VI) from wastewater by combined electrocoagulation-electroflotation without a filter, *Sep. Purif. Technol.*, 43, 117-123.
- 최영균, 정태학, 염익태, 2005, 전해부상을 이용한 활성슬러지의 농축효율 향상, 상하수도학회지, 19(3), 295-300.
- 김동석, 박영식, 2007, 전기부상을 이용한 하수슬러지 농축, 한국환경과학회지, 16(9), 1085-1090.
- APHA. AWWA. WPCF., 1998, Standard methods for the examination of water and wastewater, 20th ed., APHA. AWWA. WPCF., 2-51~2-58.
- 독고석, 1998, 용존공기부상법(DAF)에서 입자와 미세기포의 충돌특성에 관한 연구, 박사학위논문, 토목공학과, 서울대학교, 서울.
- 박용효, 한무영, 2002, 전해부상에서 전압과 극판 재질에 따른 미세기포의 크기 특성, 상하수도학회지, 16(6), 663-669.
- 조강우, 김윤중, 정태학, 2006, 전해부상을 이용한 활성슬러지의 부상 특성에 관한 연구, 한국물환경학회·대한상하수도학회 공동추계학술발표회 논문집, 173-180.
- 한무영, 박용효, 이준, 2001, 전해부상에서 미세기포의 크기특성, 대한상하수도학회·한국물환경학회 공동추계학술발표회 논문집, 297-280.
- 김동석, 박영식, 2007, 불용성 전극을 이용한 Rhodamine B의 전기화학적 탈색, 한국물환경학회지, 23(3), 377-384.
- 김달중, 이광형, 신민석, 한무영, 2001, 전기부상에 의한 O/W emulsion의 처리, 한국물환경학회·대한상하수도학회 공동추계학술발표회 논문집, 427-430.
- Mikulaášek P., R. J. Wakeman and J. Q. Marchant, 1997, The influences of pH and temperature on the rheology and stability of aqueous titanium dioxide dispersions, *Chem. Eng. J.*, 67, 97-102.
- 한무영, 신민석, 2002, 회분식 전해부상법(EF)에서 극판 재질이 탁도의 제거효율에 미치는 영향, 상하수도학회지, 16(1), 87-92.
- Kiliç M. G., Ç. Hoşten and Ş. Demirci, 2009, A

- parametric comparative study of electrocoagulation and coagulation using ultrafine quartz suspensions, J. of Hazard. Mater., Article in Press.
- 22) Hot P. K., G. W. Barton and C. A. Mitchell, 2005, The future for electrocoagulation as localized water treatment technology, Chemosphere, 59, 355- 367.