

RuO₂/Ti 전극을 이용한 AlCl₃ 및 Alum 응집제의 해수 전해응집 전처리정재훈¹, 정국¹, 원용선¹, 이태윤², 이제근², 김수한³, 임준혁^{1*}¹부경대학교 화학공학과²부경대학교 환경공학과³부경대학교 토목공학과Pretreatment of Seawater by Electrocoagulation with RuO₂/Ti ElectrodesJae-Hoon Jung¹, Guk Jeong¹, Yong-Sun Won¹, Tae-yoon Lee², Jea-Keun Lee²,
Suhan Kim³ and Jun-Heok Lim^{1*}¹Department of Chemical Engineering, Pukyong National University²Department of Environmental Engineering, Pukyong National University³Department of Civil Engineering, Pukyong National University

(jhlhim@pknu.ac.kr*)

서론

전 세계적으로 많은 나라들이 인구증가와 산업활동의 증대로 인해 물 부족을 겪고 있다. 물 부족 문제를 해결하기 위해 해수는 지난 몇십년에 걸쳐서 지구상에서 가장 풍부한 원천 중의 하나로써 담수를 만들기 위한 중요한 원료로 인식되어 왔다. 기존의 담수화 플랜트에서는 다단계발법(Multi-stage flash, MSF)과 역삼투 공정(Reverse Osmosis, RO)을 다루고 있다. 기술개발과 담수비용을 줄이기 위해 많은 조사와 연구개발이 이루어지고 있다 [1,2].

이 중 역삼투 공정은 자연 상태에 나타나는 삼투현상을 응용하여 과학적인 방법으로 처리하는 기술로써 삼투압을 초과하는 높은 압력을 인위적으로 농도가 높은 용액에 가하고, 반투막(Membrane)을 통하여 반대 방향으로 용액의 흐름을 유도하는 공정으로 염은 통과하지 못하고 담수만 막을 통과하여 분리된다. 역삼투 공정을 사용하는 플랜트에서는 역삼투막을 오래 사용하기 위해 fouling을 제거해야 하는데, fouling은 염 화합물의 결정입자나 침전물, 콜로이드 물질, 미생물 등이 막 표면에 코팅되는 현상으로 염제거율 및 생산수량을 감소시킨다. 이를 방지하기 위한 전처리가 반드시 필요하다.

해수에 존재하는 점토질 콜로이드, 조류, 박테리아 세포, 단백질 등의 미세 현탁물질은 fouling을 일으키는 요인이며, 응집(coagulation)과 응결(flocculation) 작용을 통하여 제거될 수 있다. 응집은 입자들 사이의 서로 밀어내는 반발력을 줄이는 과정으로써 응집제의 첨가와 급속혼화를 통해 콜로이드와 같은 미세 부유물질의 불안정화(destabilization)와 floc을 형성시키는 조작이다. 또한, 응결은 미세 floc간의 접촉을 통한 보다 큰 floc의 형성으로 침전효율을 향상시키는 조작이다. 미세 현탁물질과 같이 자연 침강이 어려운 물질은 대부분 음(-)의 전하를 띠고 있으므로 양(+)의 전하를 갖는 무기 응집제나 양이온성(cationic) 유기고분자 응집제를 첨가하여 침강성이 높은 floc을 형성시킴으로써 오염물질을 효과적으로 제거할 수 있다[3,4,5]. 응집제로는 PAC, AlCl₃, FeCl₃ 등을 사용한다.

본 연구에서는 fouling을 제거하기 위한 전해응집 방법에서 불용성 전극을 사용한 응집제별 전해응집 반응을 비교 해보기 위하여 AlCl₃, Alum을 응집제로 사용하고, 전극은 anode로 RuO₂/Ti, cathode로 Pt의 불용성 전극을 사용하여 응집제 사용의 최적의 조건을

과약하고, 전해응집에 따른 탁도 제거 효율을 알아보았다.

실험

본 실험에 사용된 해수는 부산 남구 용호동 이기대공원 부근 해안에서 취수하였다. 전해응집 실험은 1.0L의 반응기에서 수행되었다. 실험은 DC Power Supply(GP-4305DU model, EZ Digital Co., Ltd.)를 사용하였다. 실험에 사용된 전극은 양극과 음극이 반응기 내에 수직으로 평행하게 위치하였다. 양극에는 plate형 titanium coated with RuO_2 전극 ($3 \times 10 \times 1.5 \text{cm}$)을 사용하고, 음극에는 plate형 Pt 전극을 사용하였다. 전극사이거리는 1.5cm를 유지하였다. 전극의 총면적은 30cm^2 이다. 물질전달을 늘리고 원활한 응집을 위하여 magnetic stirrer를 이용해 용액을 일정하게 교반시켰다. 실험장치의 개략적인 그림을 Fig. 1에 나타내었다.

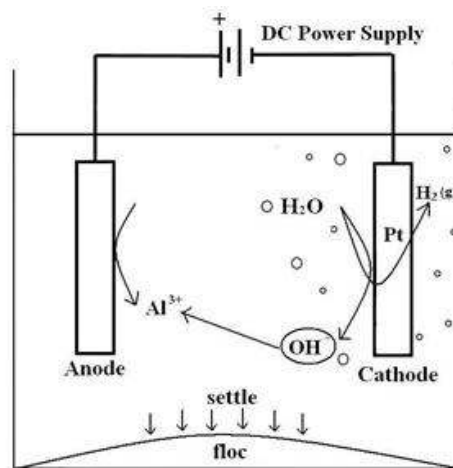


Fig. 1 Electrocoagulation Fundamental

AlCl_3 과 Alum의 응집효과를 비교하기 위해 두 응집제에 대한 실험을 따로 진행하였다. 실험은 전류세기, 응집제의 투여량, 전해 반응시간의 변화에 따른 해수의 탁도 제거에 대해 이루어졌다. 응집제로 사용된 AlCl_3 과 Alum의 투여량 변화는 1.0, 2.5, 5.0, 10.0mmol/L로 실험하였고 네 가지 다른 전류세기, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0A와 전해 반응시간 2, 4, 6, 8min에서 처리되었다. 분석은 sedimentation time 별로 시료를 취하여 Turbidity meter(2100AN, Hach)를 사용하여 시료의 탁도를 측정했다.

결과 및 토론

1. $\text{RuO}_2/\text{Ti-Pt}$ Electrocoagulation with coagulant AlCl_3

전류세기를 3A로, 전해시간을 6min으로 고정하여 AlCl_3 응집제 투여량에 대한 탁도 제거를 Fig. 2에 나타내었다. 응집제 투여량이 많을 때(10mmol)는 오히려 침강시간이 길었고, 120분이 지난 후 탁도도 다른 결과에 비해 높았다. AlCl_3 를 2.5mmol 넣어 주었을 때 탁도 제거 효율이 가장 좋았으며, 침강속도도 빨랐다.

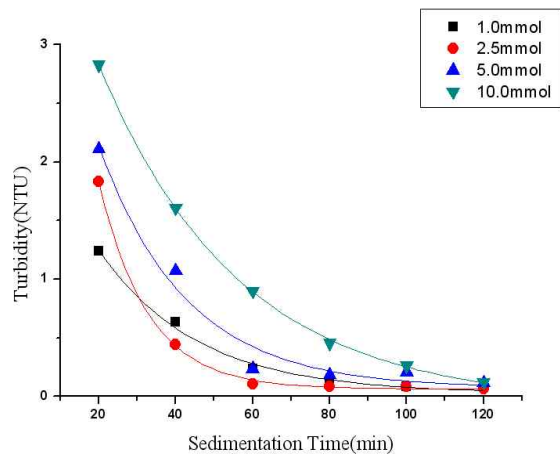


Fig. 2 Effect of coagulant dosing on the electrocoagulation of seawater (condition: Temp. = room temp., Current density = 3A, Reaction time = 6min, Reactor volume = 1L, Anode:RuO₂/Ti, Cathode:Pt, Coagulant:AlCl₃).

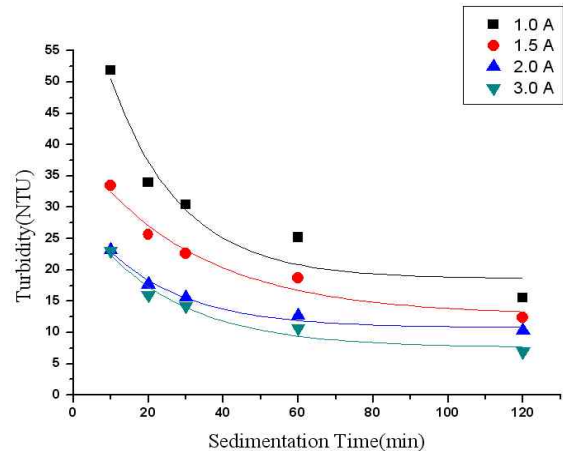


Fig. 3 Effect of current density on the electrocoagulation of seawater (condition: Temp. = room temp., Reaction time = 2min, dosing : 2.5mmol, Reactor volume = 1L, Anode:RuO₂/Ti, Cathode:Pt, Coagulant:AlCl₃).

Fig. 3과 Fig. 4 그리고 Fig. 5에는 Fig. 2의 결과를 토대로 AlCl₃ 투여량을 2.5mmol로 고정하고 각각 전류세기와 전해 반응시간을 달리하여 실험하였다. 세 반응 모두 전류의 세기가 강할수록 좋은 탁도 제거를 보였다. 전해시간 2분, 4분은 초기탁도가 높는데 비해 6분의 전해시간에서는 초기탁도도 낮고, 최종탁도 또한 0.1NTU 이하의 가장 낮은 값을 얻었다.

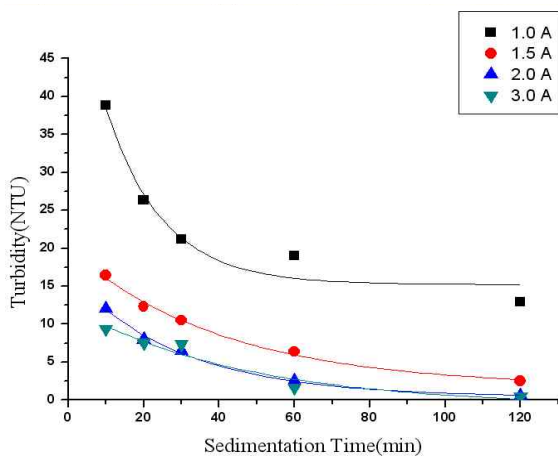


Fig. 4 Effect of current density on the electrocoagulation of seawater (condition: Temp. = room temp., Reaction time = 4min, dosing : 2.5mmol, Reactor volume = 1L, Anode:RuO₂/Ti, Cathode:Pt, Coagulant:AlCl₃).

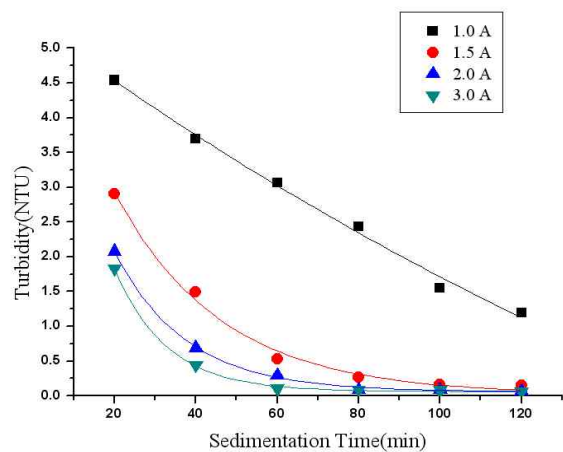


Fig. 5 Effect of current density on the electrocoagulation of seawater (condition: Temp. = room temp., Reaction time = 6min, dosing : 2.5mmol, Reactor volume = 1L, Anode:RuO₂/Ti, Cathode:Pt, Coagulant:AlCl₃).

2. RuO₂/Ti-Pt Electrocoagulation with coagulant Alum

전류세기를 3A로, 전해시간을 6min으로 고정하여 Alum 응집제 투여량에 대한 탁도 제거를 Fig. 6에 나타내었다. 전해직후의 탁도가 AlCl₃에 비해 높으며, 0.5, 1mmol에서는 최

중탁도도 높게 나왔다. Alum을 2.5mmol 이상 투여하였을 때 최종탁도는 2.5mmol에서 0.2NTU 이하까지 가장 낮게 나왔다. 응집제 투여량이 많을 때(10mmol)는 오히려 침강시간이 길었고, 120분이 지난 후 탁도도 다른 결과에 비해 높았다. $AlCl_3$ 를 2.5mmol 넣어 주었을 때 탁도 제거 효율이 가장 좋았으며, 침강속도도 빨랐다.

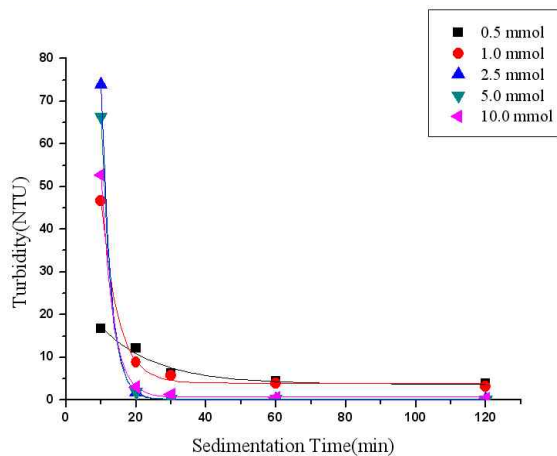


Fig. 6 Effect of coagulant dosing on the electrocoagulation of seawater (condition: Temp. = room temp., Current density = 3A, Reaction time = 6min, Reactor volume = 1L, Anode:RuO₂/Ti, Cathode:Pt, Coagulant:Alum).

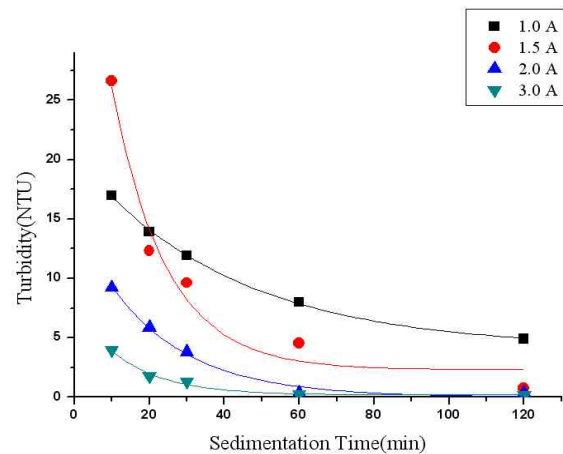


Fig. 7 Effect of current density on the electrocoagulation of seawater (condition: Temp. = room temp., Reaction time = 6min, dosing : 2.5mmol, Reactor volume = 1L, Anode:RuO₂/Ti, Cathode:Pt, Coagulant:Alum).

위 실험의 결과로 전해응집에서의 탁도 제거는 전류세기가 강할수록 더 나은 효과를 보인다는 것을 알 수 있다. 불용성 전극을 사용한 $AlCl_3$, Alum의 적정 투여량이 2.5mmol로 나타났으며, 전해시간 6분에서 가장 좋은 효율을 나타냈고, $AlCl_3$ 는 0.1NTU 이하, Alum은 0.2NTU 이하까지 탁도가 제거되어 $AlCl_3$ 및 Alum을 이용한 전해응집 전처리로 역삼투막의 fouling을 효과적으로 줄일 수 있을 것으로 예상된다.

사 사

본 연구는 한국해양과학기술진흥원 주최 가스하이드레이트 담수공정 전처리 공정개발 및 최적화 연구(C-D-2011-0518)의 일환으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. S.A. Kalogirou, Seawater desalination using renewable energy sources, *Prog. Energy Combust. Sci.*, **31**, 242-281(2005).
2. A.D. Khawaji, I.K. Kutubkhanah, J.-M. Wie, Advances in seawater desalination technologies, *Desalination*, **221**, 47-69(2008).
3. 양병수, "용수 및 폐수처리.", 동화기술(1995).
4. Howard S. Peavy, H. S., "Environmental Engineering," McGraw-Hill(1998).
5. 장윤석, "상하수도 공학특론.", 圖書出版東和技術, 4-10~37(2002).