

저탁도 해수원수 특성에 적합한 응집 - 여과 공정의 최적화 Optimization of Coagulation and Media Filtration Process for Low Turbidity Seawater

손동민 · 조명흠 · 김정숙* · 강임석†

Dong-Min Son · Myeong-Heum Jo · Jeong-Sook Kim · Lim-Seok Kang †

부경대학교 환경공학과 · *동서대학교 에너지환경공학과

Department of Environmental Engineering, Pukyong National University

*Department of Energy&Environmental Engineering, Dongseo University

(2013년 7월 4일 접수, 2014년 4월 2일 채택)

Abstract : This research is focused on coagulation and sand filtration process as a pretreatment of RO seawater desalination. RO systems require sufficient and reliable pretreatment process to produce superior quality of RO feedwater that can mitigate RO membrane fouling. This experiment was conducted to investigate the effectiveness of coagulation and filtration process under various experimental conditions including different coagulant dose, flocculation mixing intensity and time, turbidity, and filtration rate. The experimental results showed that the optimum pretreatment conditions resulting in lower SDI value suitable for RO feedwater were coagulation pH 6.5, raw water turbidity greater than 4 NTU, and media bed depth greater than 550 mm. However, flocculation mixing intensity, coagulant dose, and filtration rate relatively affected little on the filtration efficiency.

Key Words : Media Filtration, Seawater Desalination, Pretreatment, Coagulation, Reverse Osmosis

요약 : 본 연구는 RO 해수담수화 전처리 공정으로써 응집 및 여과공정에 대하여 수행되었다. RO 시스템은 충분하고 안정적인 전처리를 통하여 RO 막오염을 완화 할 수 있는 우수한 수질을 공급할 수 있어야 한다. 본 실험은 RO 막 공정의 전처리로서 다양한 응집제 투입량, 응집 교반 강도 및 시간, 탁도, 여과속도 실험 조건을 사용하여 응집과 여과공정의 효과를 조사하기 위하여 수행되었다. 본 연구 결과 적합한 RO 공급수로 적절한 SDI 값을 나타내기 위한 최적 전처리 조건은 응집 pH 6.5, 탁도 4 NTU 이상 그리고 여재 층진 높이가 550 mm 이상인 것으로 나타났다. 그러나 응집교반 강도, 응집제 투입농도와 여과속도는 여과효율에 비교적 큰 영향을 미치지 않은 것으로 나타났다.

주제어 : 여과, 해수담수화, 전처리, 응집, 역삼투

1. 서론

최근 국내에서도 대체 상수원으로써 해수의 이용에 많은 관심을 가지고 있으며 물이 부족한 도서지역을 대상으로 해수 담수화 설비를 확충하고 있다. 해수담수화는 해수로부터 염분 등을 제거하여 담수를 얻는 탈염 기술로써 최근 가장 경제적인 RO (Reverse Osmosis) 탈염공정이 가장 널리 사용되고 있다. RO막은 1가 이온을 포함해서 99% 이상의 염분 리능을 가지기 때문에 RO막 유입 입자상 물질들은 RO막의 fouling을 유발시켜 플럭스(flux) 감소 및 여과수의 수질을 악화시킬 수 있고, 이러한 입자상 물질들의 제거는 전처리에 전적으로 의존하므로 전처리 과정은 매우 중요하다.^{1,2)} RO공정 전처리로서 가장 많이 활용되는 공정은 막 여과 공정과 재래식 전처리 공정인 입상여과(Granular Media Filtration) 공정이 있다. 수질 측면에서는 막 여과 공정이 RO 공급수의 안정적인 수질을 확보하는데 유리하나³⁾ 입상여과 공정은 높은 비용이 들지 않는다는 장점이 있다.⁴⁾ 일반적으로 RO 공정의 재래식 전처리는 응집공정 및 여과공정으로 구성되며 응집공정은 여과공정을 위한 전처리 공정으로써 여

과 효율을 증가시키기 위해 필요하다.^{5,6)} 여과 공정은 RO 공급수의 SDI (Silt Density Index)를 낮추는데 사용되며, 보통 3 이하의 15 min SDI는 RO 공급수로서 매우 적합하다고 알려져 있으나⁷⁻⁹⁾ 많은 RO 시설에서는 15 min SDI 값이 4.0 과 5.0 사이에서 적절하다고 보고된바 있으며, 이 값은 재래식 전처리공정을 사용하여 달성할 수 있다고 하였다.^{7,10,11)} 응집-여과 공정에서 SDI 값을 낮추기 위해서는 우선 대상 원수 특성에 맞는 응집 처리가 필요하다. 또한 응집 효율을 증가시키기 위해 적합한 응집 pH 조건이 필요하며 응집 pH와 관련된 중요한 응집 메커니즘은 전하중화(charge neutralization)와 sweep floc 응집이며 각각의 응집 pH 범위는 4~6 및 6~8 범위로 알려져 있다.¹²⁾

본 연구에서 사용된 부산광역시 기장지역은 45,000 m³/day 규모의 RO 플랜트가 가동 예정에 있는 곳으로서, 해수원수의 탁도는 강우빈도가 높은 여름을 제외하고는 평균 1.0 NTU 이하로 매우 낮은 편이다. 이러한 낮은 탁도는 floc 형성 시 입자간 충돌 빈도가 낮기 때문에 응집 효율에 긍정적이지 못하다. 따라서 이러한 저탁도 해수에 적합한 응집 및 여과 조건에 대한 고찰이 필요하다. 따라서 본 연구는 RO

† Corresponding author E-mail: kangls@pknu.ac.kr Tel: 051-629-6527 Fax: 051-629-6523

유입수에 적합한 수질을 위한 전처리로서 응집 및 여과공정에 주된 영향을 미치는 응집제 주입농도, 교반조건, 응집 pH 및 여과속도와 여재층 높이를 달리하여 저탁도의 해수원수 특성에 적합한 응집과 여과 조건을 도출하고자 하였다. 본 연구에서는 응집-여과 공정에 의한 RO 공급수의 수질을 평가하는 지표로서 탁도 및 SDI 지수를 사용하였다.^{13,14)} 특히 본 연구에서는 해수의 응집제로서 alum을 사용하였다. 일반적으로 해수의 응집에는 FeCl₃ 등의 철염 응집제가 주로 사용되고 있으나 이에 대한 이유가 명확하게 제시된 바가 없다.^{3,5)} 또한 현재 국내에서는 정수용 철염 응집제가 거의 생산되고 있지 않기 때문에 대부분의 해수 담수화 RO 플랜트에서는 알루미늄염 응집제를 사용하고 있는 실정이다. 그리고 본 연구에서 사용된 동일한 해수와 FeCl₃을 사용한 연구가¹⁶⁾ 이미 수행된 바가 있기 때문에 본 연구에서는 alum 응집제를 사용하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 유입수 특성

본 연구에 사용된 해수 원수는 부산시 기장군 앞바다의 수심 5 m 지점의 해수를 채취하여 사용하였으며 그 수질 특성을 Table 1에 나타내었다. 본 실험에 사용된 해수는 여름

Table 1. Characteristics of seawater quality at Kijang area, Busan, Korea

Parameters	Unit	Range
Temperature	°C	5~23
pH	-	8.0~8.3
Turbidity	NTU	1.07~6.85
UV ₂₅₄	cm ⁻¹	0.008~0.012
Alkalinity	mg/L as CaCO ₃	109.7~136.8
Conductivity	µs/cm at 25°C	40,469~46,486
TDS	mg/L	27,114~31,146

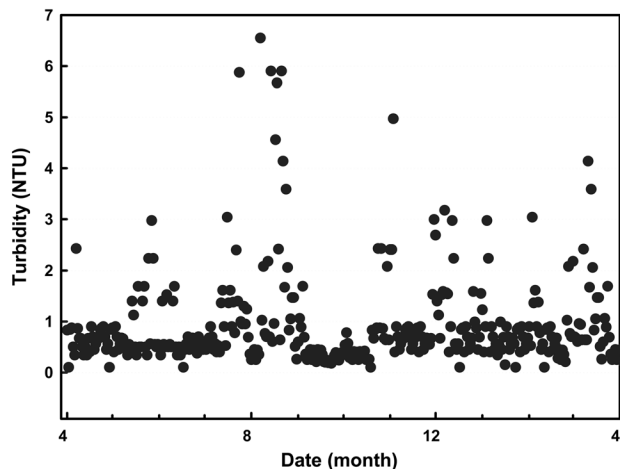


Fig. 1. Turbidity change in seawater at Kijang area, Busan, Korea (2011, 4~2012, 3).

에는 수온이 20°C까지 상승하며 겨울에는 5°C까지 낮아진다. pH는 8.0~8.2로 대체로 일정하며, 일반적인 탁도는 1.0 NTU 이하로 낮은 편이다. 본 실험에 사용된 해수 채수 지점은 2013년 준공 예정인 45,000 m³/day 규모의 해수담수화 플랜트에 근접하여 위치해있다.

2.2. 응집 및 여과

2.2.1. 응집

본 연구에서는 Al계 응집제로, alum Al₂(SO₄)₃·16H₂O (Fluka, Swiss)을 사용하였으며, 실험에 사용하기 전 0.25 M (as alum) stock solution을 제조 후 실험 하루 전 초순수를 사용하여 10 g/L (as alum)로 희석한 dosing solution을 사용하였다. Dosing solution은 제조 시 희석에 의한 성상변화에 따른 오차를 최소화하기 위하여 alum dosing solution을 실온에서 하루 방치하여 안정화 시킨 후 사용하였다. 하루 사용 후 남은 dosing solution은 모두 버리고 실험할 때마다 다시 제조하여 사용하였다. 최적 alum 주입농도를 결정하기 위해 Jar test를 이용한 예비 응집실험을 실시하였고 그 결과를 Fig. 2에 나타내었다. 응집 pH는 황산으로 pH를 조절 한 pH 6.5와 별도의 pH 조절을 하지 않은 8.0의 2가지 실험 조건을 선정하였으며, 사용된 pH 조건은 예비실험 결과와 본 실험과 동일한 해수와 FeCl₃ 응집제를 사용한 선행 연구 결과를 참고하였다.¹⁶⁾ Fig. 2의 Jar test 결과 alum 주입농도 6 mg/L (as alum) 이상에서 응집 pH 6.5와 pH 8.0 조건 모두 잔류 탁도는 1.0 NTU 이하로 나타났다. 따라서 본 연구의 응집과 여과 실험에 사용된 alum 주입농도는 탁도의 안정화가 시작되는 부분인 6 mg/L와 alum 주입농도가 높을 때의 응집 효율을 비교하기 위하여 alum 주입량 10 mg/L를 각각 선정하였다.

예비실험에 사용한 Jar test 실험기기는 6개의 교반장치를 갖춘 것으로 Phipps and Birds사의 Jar tester를 사용하였으며, 임펠러는 paddle (two-blade) 형식으로서 크기는 75 mm^w × 25 mm^l이다. 응집실험에서 사용된 Jar는 115 mm^w × 115

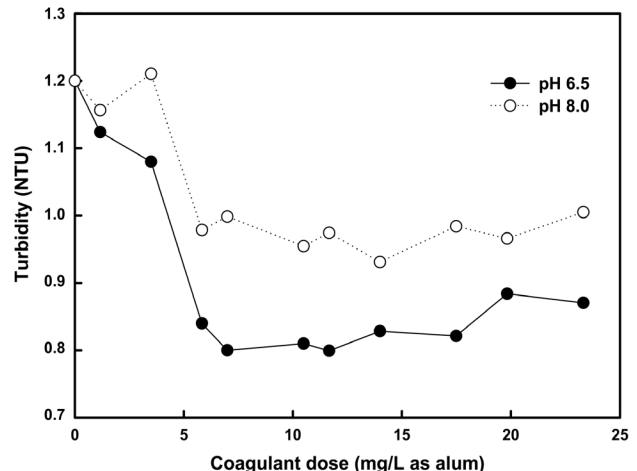


Fig. 2. Effect of coagulant dose on residual turbidity (20°C).

mm^L × 210 mm^H인 정방형 2 L 사각 Jar를 사용하였다. Jar test에서의 급속교반과 완속교반의 교반강도를 각각 250 rpm (G = 550 sec⁻¹ at 20°C) 과 45 rpm (G = 40 sec⁻¹ at 20°C)으로 모든 실험에서 동일하게 하였으며, 급속교반 및 완속교반 시간은 각각 1분과 10분으로 실험을 하였다. Kim 등¹⁶⁾은 저탁도 해수원수에 대한 응집-여과 실험에서 완속교반 시간을 2~5분으로 하였을 때 완속교반 시간은 여과효율에 큰 영향을 미치지 못하다고 보고한 바 있으며, 이러한 이유로 본 연구에서는 floc 형성에 충분한 시간을 제공하기 위하여 완속교반 시간을 10분으로 설정하였다.

2.2.2. 모래 여과조

일반적으로 RO 막의 전처리 여과공정에서는 Anthracite와 모래를 이용한 이중 여과를 주로 사용하지만 본 연구에서는 모래만 이용한 단일 여과조를 사용하였다. 이중 여과와 단일 여과공정을 비교한 Zouboulis 등¹⁷⁾의 연구결과에 따르면 수질적인 측면에 있어서는 큰 차이가 없는 것으로 보고하였다. 본 연구에 사용된 단일 여과조의 계통도를 Fig. 3에 나타내었으며, 여과조의 세부 구성을 Table 2에 나타내었다. 필요시 원수의 탁도 조절을 위하여 역세척수의 일부는 원수 탱크로 유입되게 배관을 설치하였다.

Table 2. Specifications for sand filter design and operation

Parameters	Values
Column height, mm	1,800
Column diameter (I.D.), mm	120
Effective size (sand), mm	0.45
Uniformity coefficient	1.4
Bed depth (sand), mm	1,000
Backwash rate, m/h	40
Backwash time, min	5
Filtration rate, m/h	5 and 10
Rate of sand bed expansion, %	130

2.2.3. 여과조 여과수의 SDI 측정

ASTM¹⁸⁾ 표준 방법에 제시된 SDI는 0.2 MPa 압력으로 0.45 μm 공극 크기를 가진 필터의 오염되는 속도로부터 결정되며 측정에 관한 관계식은 다음과 같다.¹⁸⁾

$$SDI = \frac{100\% \times \left(1 - \frac{t_1}{t_2}\right)}{t} \quad (1)$$

여기서 t는 총 경과 시간(분)이고, t₁은 최초 500 mL 용액이 여과되는데 요구되는 시간(초)이며, t₂는 t 시간 뒤에 500 mL의 용액이 여과되는 시간(초)이다.¹⁹⁾ 본 연구에서는 15 min SDI 만을 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 응집

3.1.1. Alum 주입량과 완속교반 강도의 영향

pH 8.0 조건에서 응집제 주입농도와 완속교반에 강도 대 한 응집-여과 효율을 Fig. 4에 나타내었다. 유입 원수의 탁도는 0.5 NTU이며 교반 시간은 급속 1분 그리고 완속 10분의 조건으로 운전하였다. Alum 주입농도 6 mg/L의 조건에서 완속교반 강도가 45 및 60 rpm일 때 SDI 평균값은 각각 5.25 및 5.49로 나타나 큰 차이를 보이지 않았다. 동일한 조건에서 alum 주입농도 10 mg/L의 조건에서는 완속교반 강도가 45 및 60 rpm일 때 SDI 평균값은 각각 5.15 및 5.29로 나타났다. 그러나 사용된 2가지 응집제 농도에서 여과조 여과수의 탁도는 모두 0.1 NTU 이하로 나타났다. Alum 주입농도 영향에서는 alum 주입농도가 증가할수록 평균 SDI 값 또한 일부 낮아진 것으로 나타났지만 그 값의 차이가 0.24~0.34로 매우 작게 나타났다. 따라서 최적의 alum 주입농도

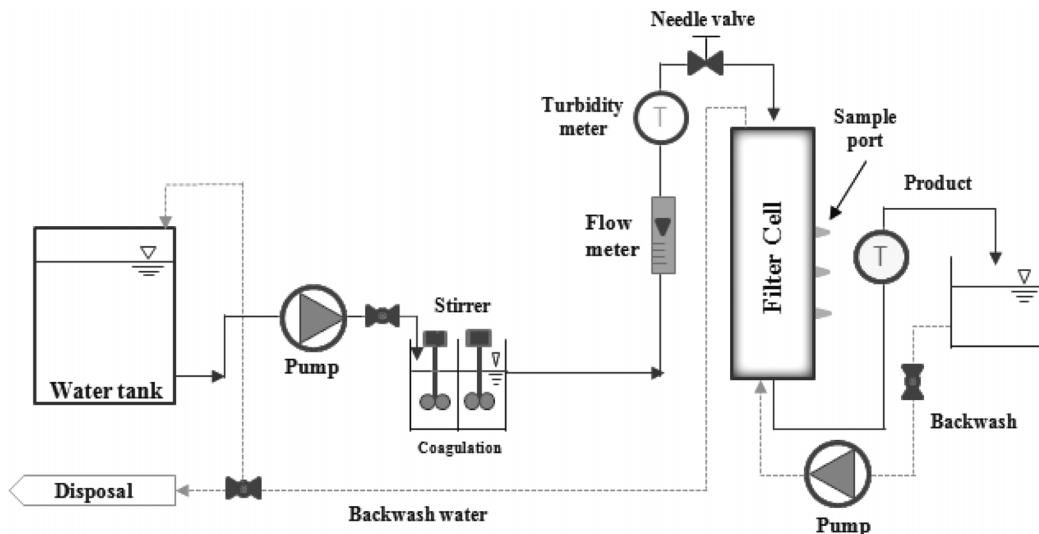


Fig. 3. Schematic of the coagulation-media filtration system.

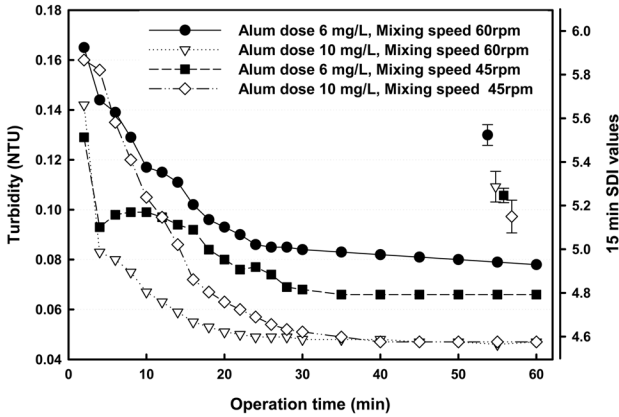


Fig. 4. Comparison of filtration efficiency under different coagulant doses and mixing speed (filtration rate: 5 m/h, pH 8.0, raw water turbidity: 0.5 NTU and 20°C).

를 결정할 때 alum 농도를 6~10 mg/L 범위에서 선택 가능하리라 판단된다. 일반적인 해수담수화 전처리 공정을 위한 무기 응집제의 적정 주입량은 수질의 특성에 따라 5~30 mg/L에서 사용되고 있다.¹⁹⁾

또한 완속교반 강도의 영향에서는 45 rpm일 때 SDI 평균값은 60 rpm에 비하여 다소 감소하였지만 그 값의 차이가 0.14~0.24 정도로 매우 낮게 나타나 여과효율에 미치는 완속교반 강도의 영향은 거의 없는 것으로 나타났다. 이러한 이유는 본 연구에서 사용된 해수의 낮은 탁도(0.5 NTU) 때문이라고 판단된다. 여과 가능한 floc 형성 공정의 주된 영향 인자는 교반에 의한 속도 경사 및 입자들의 충돌 빈도이다. 이러한 입자들 간의 충돌빈도 때문에 완속교반조에서의 탁도는 중요한 요소이다.²⁰⁾ 또한 Amirtharajah는²¹⁾ 응집 대상 입자들의 수가 적을 때 floc간의 상호 충돌 빈도가 현저히 감소된다고 하였다. 따라서 본 연구 결과에서는 floc 형성에 영향을 미치는 완속교반 강도는 저탁도 원수에서 응집-여과 효율 개선에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.

3.1.2. 응집 pH의 영향

Alum 주입농도와 응집 pH 변화에 따른 여과조의 응집-여과 효율을 Fig. 5에 나타내었다. 본 실험 조건에서 여과수의 탁도는 모두 0.1 NTU 이하로 나타났다. 그러나 pH 8.0 및 6.5 조건에서 여과수의 SDI 값을 비교하면 pH 8.0에서 alum 주입농도가 6 및 10 mg/L의 경우 SDI 평균값은 각각 5.25 및 5.15로 나타났으며, pH 6.5 조건에서는 alum 농도 6 및 10 mg/L에서 SDI 평균값은 각각 4.87 및 4.86으로 나타나 pH 8.0 조건에 비해 다소 낮은 SDI 값을 보였다. 본 연구의 실험조건인 pH 6.5 및 8.0 은 sweep floc 응집 범위에 있지만 더 낮은 응집 pH 조건에서 낮은 SDI 값을 얻었다. 이러한 이유는 주입된 alum의 가수분해가 응집 pH에 따라 달라지기 때문인데, 일반적으로 pH가 더 낮은 조건에서는 고분자 알루미늄 가수분해종이 생성될 기회가 더 크며 이러한 고분자 가수분해종은 전하 중화의 효과가 더 크다고 알려져 있다.¹²⁾ Amirtharajah는¹²⁾ 콜로이드 입자의 alum 응집 메커

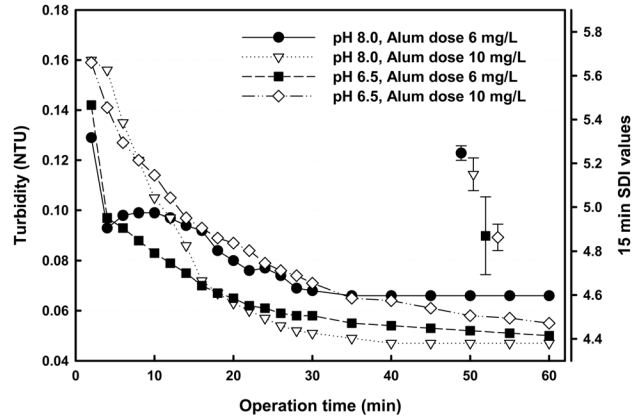


Fig. 5. Comparison of filtration efficiencies under different coagulant doses and coagulation pH (filtration rate: 5 m/h, mixing speed: 45 rpm, raw water turbidity: 0.5 NTU, and 20°C).

니즘에 대한 연구에서 pH 6~7 범위가 최적의 sweep floc 조건이라고 하였다. 이처럼 응집의 효율 증가는 floc의 크기와 밀접한 연관이 있고 floc의 크기는 여과 효율에 영향을 미치는 중요한 인자이다. 또한 응집 pH 6.5는 여과 효율 측면에서 더 중요한 의미를 갖는데, 그 이유는 알루미늄의 용해도가 pH 6.5 부근에서 가장 낮기 때문이다. 따라서 응집-여과 공정 효율에 있어서 낮은 응집 pH의 유지는 SDI 값을 낮추는데 중요한 요인이라고 판단된다.

3.1.3. 원수 탁도의 영향

응집-여과 효율에 미치는 원수 탁도의 영향을 알아보기 위하여 여과조 역세척수를 저탁도 해수 원수에 첨가하여 인위적으로 탁도를 증가시킨 후 탁도 변화에 따른 응집-여과 효율을 Fig. 6에 나타내었다. 첨가된 탁도는 응집처리 시 역세척수에 포함된 잔류 알루미늄의 영향을 배제하기 위하여 응집 공정을 거치지 않은 해수 원수를 여과한 후의 역세척수를 사용하였으며, 실험에 사용된 응집-여과 조건은 alum 주입농도 6 mg/L, 완속교반 강도 45 rpm 그리고 여과속도

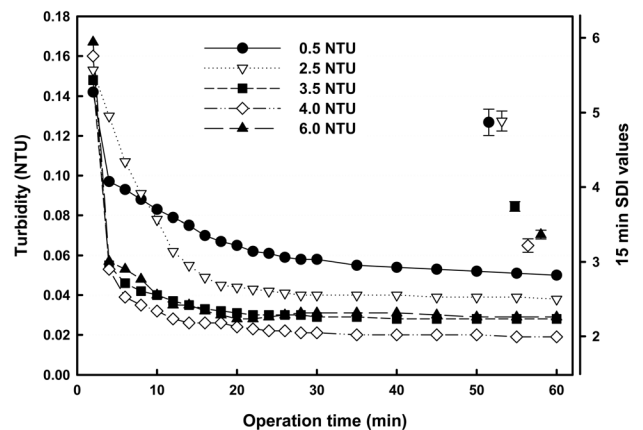


Fig. 6. Changes in turbidity and SDI value of filtrate under various turbidity conditions (coagulant dose: 6 mg/L, pH 6.5, filtration rate: 5 m/h, mixing speed: 45 rpm, and 20°C).

는 5 m/hr이었다. Fig. 6에서 원수 탁도가 응집-여과 효율에 미치는 영향에 대해 살펴보면 탁도를 0.5, 2.5, 3.5, 4.0 및 6.0으로 증가시켰을 때 SDI 평균값은 각각 4.87, 4.89, 3.74, 3.22 및 3.37로 나타났다. 따라서 원수 탁도가 0.5~2.5 NTU 일 때는 여과수의 SDI 값은 거의 변화가 없었으며, 원수의 탁도를 3.5 NTU 이상으로 증가 시켰을 때 SDI 값이 4.0 이하로 감소한 것으로 나타났다. 앞서 언급된 바와 같이 응집-여과 효율을 증가시키기 위해서 탁도는 중요한 요인이며 본 연구결과에서도 탁도가 증가할수록 응집-여과 효율의 개선이 두드러지게 나타났다. 특히 4.0 이하의 SDI 값은 재래식 전처리 공정에 의한 RO 공급수로서 적합하다고 알려져 있다.⁷⁻⁹⁾ 따라서 저탁도 해수원수를 대상으로 한 응집-여과 공정에 있어서 RO 공급수로서 적합한 수질을 가지기 위해서는 원수의 탁도에 대한 고려가 필요하다고 판단된다.

3.2. 여과

3.2.1. 여과속도의 영향

여과조의 여과속도에 따른 여과 효율 및 수두손실(head loss)을 관찰한 결과를 Fig. 7에 나타내었다. 응집 조건은 응집 pH 6.5, alum 주입농도 6 mg/L, 완속교반 강도를 45 rpm으로 동일하게 하였으며 원수의 탁도는 여과조 역세척수를 이용하여 인위적으로 4.56 NTU로 증가시켜 실험하였다. 여

과속도에 따른 여과효율을 나타낸 Fig. 7(a)를 살펴보면 여과속도 5 및 10 m/h에 대한 여과수의 SDI 평균값은 각각 3.23 및 3.40으로 나타나 큰 차이는 없는 것으로 조사되었으며, 또한 두 조건 모두 여과수의 탁도는 0.1 NTU 이하로 나타났다. 여과속도에 따른 수두손실의 변화를 비교한 결과인 Fig. 7(b)에 의하면 2가지 여과속도 조건 모두 여과시간 30분 이상부터 수두손실이 여과 지속시간에 따라 선형적으로 증가하였다. 여과속도가 10 m/h에서의 수두손실은 5 m/h에 비하여 약 1.5배 빠르게 증가한 것으로 나타났다. 수질적인 측면에서는 여과속도에 관계없이 SDI 평균값이 3.5 이하로 매우 낮게 나타났으나, 1시간의 여과 지속시간으로는 탁도의 파과를 관찰할 수 없었기 때문에 수두손실의 차이만으로는 최적 여과속도는 결정할 수 없었다. 그러나 역세척 직후 여과 초기에 여과수의 수질이 좋지 않은 여과기 숙성(ripening) 관점에서 판단하면 낮은 여과속도(5 m/h)가 높은 여과속도(10 m/h)에 비해 초기 여과수의 탁도가 상대적으로 빠르게 안정되는 것으로 나타났다.

3.2.2. 여재 충전 높이의 영향

여과조의 여재 충전 높이를 250, 550, 850 및 1,000 mm로 하였을 경우 저탁도(0.5 NTU)와 고탁도(4.56 NTU) 조건에서의 여과 효율을 Fig. 8에 나타내었다. 응집-여과 조건은 응

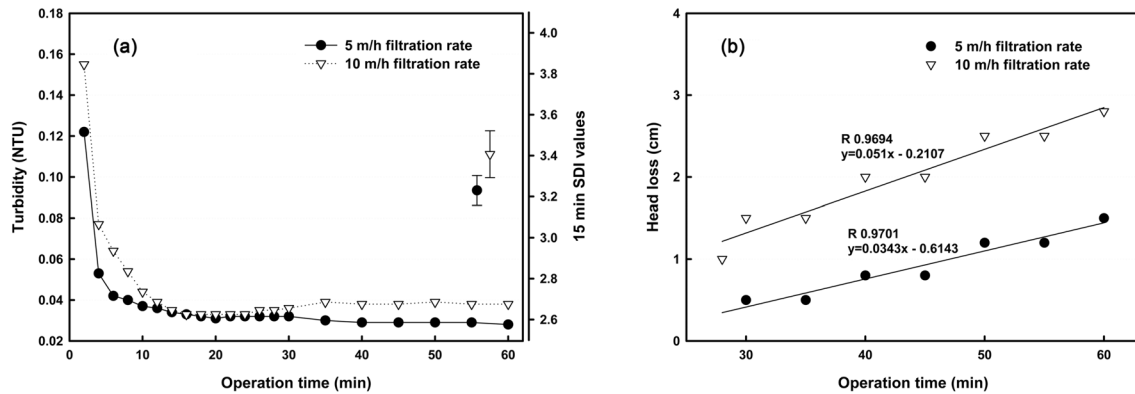


Fig. 7. Effect of filtration rate on turbidity, SDI, and head loss (coagulant dose: 6 mg/L, pH 6.5, mixing speed: 45 rpm, and 20°C): (a) turbidity and SDI (b) Head loss.

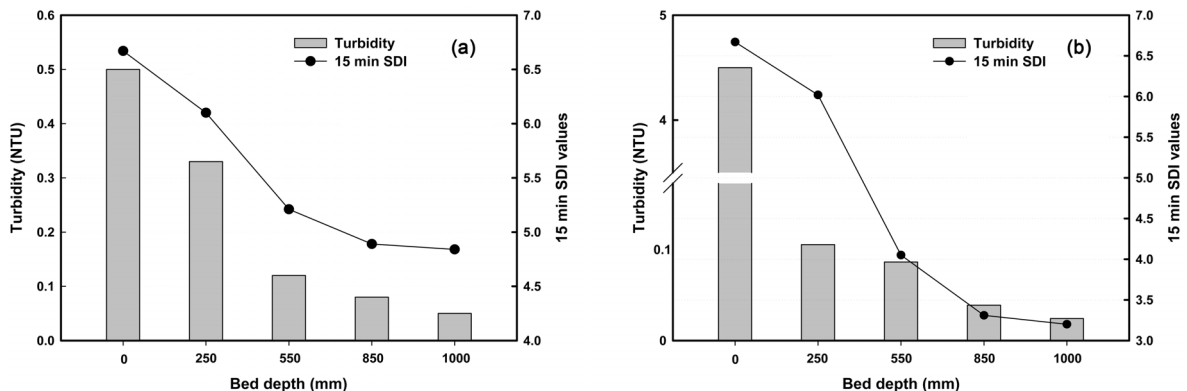


Fig. 8. Effect of filter bed depth on turbidity and SDI (coagulant dose: 6 mg/L, pH 6.5, mixing speed: 45 rpm, and 20°C): (a) 0.5 NTU (b) 4.56 NTU.

집 pH 6.5, alum 주입농도 6 mg/L, 완속교반 강도 45 rpm 그리고 여과속도 5 m/h이었다. 여과조 여과수의 탁도 및 SDI 값은 여과 1시간 경과 후 각각의 여재 충전 높이에서 채수된 여과수를 사용하였다. 저탁도에서 여재 충전 높이에 따른 결과인 Fig. 8(a)를 살펴보면 여재의 충전 높이가 가장 높은 1,000 mm 에서의 SDI 값은 4.5 이상으로 나타난 반면, Fig. 8(b)와 같은 고탁도에서는 여재 충전 높이가 550 mm 지점에서부터 SDI 값은 4에 근접한 것으로 나타났다. 여재의 충전 높이의 증가는 입자상 물질의 여과 기회를 증가시키는 장점이 있는 반면 수두손실의 증가요인이 된다. 이러한 이유로 여재의 충전 높이와 유효경은 여과조 설계에 가장 중요한 요인이다. Voutchkov³⁾는 적합한 여재의 충전 높이를 결정함에 있어서 여재의 충전 높이와 유효경의 비가 1,500 이상이면 적합하다는 경험식을 제시한바 있다. 이 식에 따르면 본 실험에서 사용된 유효경 0.45 mm의 여재에 적합한 충전 높이는 675 mm이며, 본 연구에서 원수 탁도 4.56 NTU에서 실험한 결과 여재의 충전 높이가 550 mm에서 SDI 값은 약 4.0으로 나타났다. 그러나 저탁도 해수원수를 사용하였을 경우 여재의 충전 높이가 충분히 높더라도 만족할만한 SDI 값을 얻을 수 없었다. 따라서 RO 막의 공급수에 적합한 수질 (SDI < 4.0)을 얻기 위해서는 저탁도 해수원수의 특성에 적합한 응집-여과 공정의 설계 및 운전이 필요한 것으로 판단된다.

4. 결론

1) 응집-여과 공정을 이용하여 RO 막의 공급수에 적합한 수질(SDI < 4.0)을 얻기 위해서는 응집조건 중 응집 pH와 원수의 탁도가 중요한 요인으로 나타났으며, 본 실험에 사용된 응집제 농도(6~10 mg/L)와 완속교반 강도의 영향은 상대적으로 작은 것으로 나타났다.

2) 여과속도는 수두손실에는 큰 영향을 미쳤으나 여과수의 수질에 미치는 영향은 상대적으로 작은 것으로 나타났다.

3) 여과조 여재 충전 높이는 해수원수의 탁도가 적절할 때 여재층 550 mm 이상에서 SDI 값이 약 4.0으로 낮게 나타났으나, 저탁도 해수원수를 사용할 경우 여재층 높이가 충분하더라도 만족할 만한 SDI 값을 나타내지 못하였다.

4) 응집-여과 공정을 이용한 저탁도 해수원수의 처리 시 RO 막의 공급수에 적합한 수질(SDI < 4.0)을 얻기 위해서는 여과조 역세척수의 첨가를 통한 원수 탁도의 조절이 매우 효과적인 것으로 나타났다.

사사

이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2013년)에 의하여 연구되었음.

Reference

1. Bates, W. T. and Cuzzo, R., Integrated membrane systems. Hydranautics Available from: http://www.membranes.com/docs/papers/01_ims.pdf (accessed 17.05.08.)(2000).
2. Brehant, A., Bonnelye, V. and Perez, M., "Assessment of ultrafiltration as a pretreatment of reverse osmosis membranes for surface seawater desalination," *Water Sci. Technol.: Water Supply*, **3**(5-6), 437-445(2003).
3. Nikolay, V., "Considerations for selection of seawater filtration pretreatment system," *Desalination*, **261**, 354-364(2010).
4. Mitrouli, S. T., Karabelas, A. J., Yiantsios, S. G. and Kjolsseth, P. A., "New granular materials for dual-media filtration of seawater: Pilot testing," *Sep. Purific. Technol.*, **64**(2), 147-155(2009).
5. Isaias, N. P., "Experience in reverse osmosis pretreatment," *Desalination*, **139**, 57-64(2001).
6. Sauvet-Goichon, B., "Ashkelon desalination plant-a successful challenge," *Desalination*, **203**, 75-81(2007).
7. Bonnelye, V., Sanz, M. A., Durand, J. P., Plasse, L., Gueguen, F. and Mazounie, P., "Reverse osmosis on open intake seawater: pre-treatment strategy," *Desalination*, **167**, 191-200(2004).
8. Reverter, J. A., Talo, S. and Alday, J., "Las Palmas III - the success story of brine staging," *Desalination*, **138**, 207-217(2001).
9. Rybar, S., Vodnar, M., Vartolomei, F. L., Me'ndez, R. L. and Ruano, J. B. L., "Experience with Renewable Energy Source and SWRO Desalination in Gran Canaria," SP05-100. International Desalination Association World Congress. Available from: <http://www.membranes.com/docs/papers/New%20Folder/Soslaires%20Canarias%20Desalination%20Plant.pdf> (accessed 25.05.08.)(2005).
10. Bu-Rashid, K. A. and Czolkoss, W., "Pilot tests of multipore UF membrane at Addur SWRO desalination plant," *Bahrain. Desalination*, **203**, 229-242(2007).
11. Chua, K. T., Hawlader, M. N. A. and Malek, A., "Pretreatment of seawater: results of pilot trials in Singapore," *Desalination*, **159**, 225-243(2003).
12. Amirtharajah, A. and Mills, K. M., "Rapid-Mix Design for Mechanisms of Alum Coagulation," *J. Am. Water Works Assoc.*, **74**(4), 210-216(1982).
13. Ando, M., Ishiara, S., Iwahori, H. and Tada, N., "Peculiar or Unexpected Behavior of Silt Density Index of Pretreated Seawater for RO Desalination," Proceedings of IDA World Congress, Bahamas BAH03-071(2003).
14. Mosset, A., Bonnelye, V., Petry, M. and Sanz, M. A., "The sensitivity of SDI analysis: from RO feed water to raw water," *Desalination*, **222**, 17-23(2008).
15. Hydranautics, "Chemical Pretreatment for RO and NF," Technical Application Bulletin No. 111, Rev. B Available from: Available from: <http://www.membranes.com/docs/tab/TAB111.pdf>(2003).
16. Kim, S., Lee, I. S., Kim, K. J., Shon, D. M. and Kang, L.

- S., "Dual media filtration and ultrafiltration as pretreatment options of low-turbidity seawater reverse osmosis processes," *Desalination Water Treat.*, **33**, 329~336(2011).
17. Zouboulis, A., Traskas, G. and Samaras, P., "Comparison of single and dual media filtration in a full-scale drinking water treatment plant," *Desalination*, **213**, 334~342(2007).
 18. Standard Test Method for Silt Density Index (SDI) of water, D 4189-95 ASTM.
 19. Wilf, M. and Bartels, C., "Integrated membrane desalination systems-current status and projected development," Hydranautics Available from: <http://www.membranes.com/docs/papers/New%20Folder/Abstract%20for%20Tianjin%20-%20Hydranautics.pdf>(2006).
 20. Smoluchowski, M., "Versuch einer mathematischen Theorie der Koagulation skinetic Kolloider Losunger," *Zeit. Phys. Chem.*, **92**, 129-168(1917).
 21. Amirtharajah, A. and O'Melia, C. R., "Coagulation process: destabilization, mixing, and flocculation," In *Water Quality and Treatment*, 4th Ed., McGraw-Hill, NY(1990).