

# SWRO 해수담수화 공정에서 전처리된 수질조건이 SDI에 미치는 영향 Effect of Pretreated Seawater Quality on SDI in SWRO Desalination Process

손동민 · 강임석<sup>†</sup>  
Dong-Min Son · Lim-Seok Kang<sup>†</sup>

부경대학교 환경공학과  
Department of Environmental Engineering, Pukyong National University

(2012년 5월 11일 접수, 2013년 3월 5일 채택)

**Abstract :** Pretreatment process is the critical step of RO (Reverse Osmosis) membrane desalination plant in order to prevent RO membrane fouling. The pretreatment as a key component of RO process must be designed to produce a constant and high quality RO feedwater which has low silt density index (SDI). This experiment was conducted to assess parameters affecting SDI value, such as pH, seawater turbidity, temperature, and coagulant dose. The experimental results indicated that the source seawater turbidity did cause little effects on SDI values of filtered water. The 0.45  $\mu\text{m}$  hydrophilic membrane was more appropriate than the hydrophobic membrane for measuring SDI. The SDI value was increased with decreasing pH under the condition of below pH 7.0. In addition, the water temperature significantly affected the SDI values, showing higher SDI value with lower water temperature.

**Key Words :** Pretreatment, SDI, Coagulation, Desalination, Reverse Osmosis

**요약 :** 전처리 공정은 막의 오염 정도를 제어할 수 있는 유일한 방법이다. 막의 오염 현상은 피할 수 없는 중요한 문제이며 RO 공급수로 적합한 전처리 공정의 선택이 중요하다. 본 연구는 pH, 해수의 탁도, 수온, 응집제 주입량 그리고 SDI 측정 막 재질과 같은 SDI 값에 영향을 미치는 인자들을 평가 하기위해 수행되었다. 그 결과 해수의 탁도는 여과수의 SDI 값에 약간의 영향을 미친것으로 조사되었다. 0.45  $\mu\text{m}$  공극 크기를 가지는 SDI 측정 막은 소수성 막 보다 동일한 재질의 친수성 막을 이용하는 것이 분석 결과의 신뢰성과 재현성을 확보할 수 있었다. pH 7.0 이하의 조건에서 pH가 감소할수록 SDI 값은 증가한 것으로 나타났다. 그리고 수온은 SDI 값은 큰 영향을 미친것으로 조사되었다.

**주제어 :** 전처리, SDI, 응집, 해수담수화, 역삼투

## 1. 서론

해수담수화는 해수로부터 염분 등을 제거하여 담수를 얻는 탈염 기술로서 최근 가장 경제적인 RO (Reverse Osmosis) 공정이 가장 많이 사용되고 있다. RO 막(membrane)은 99% 이상의 염 분리능을 가지고 1가 이온 물질까지 제거할 수 있기 때문에 그 외의 입자상 물질들은 RO 막을 손상 시켜 플럭스(flux) 감소 및 유출수의 수질을 악화시킬 수 있으며 이러한 입자상 물질들의 제거는 전처리에 전적으로 의존하기 때문에 전처리 과정은 매우 중요하다.<sup>1,2)</sup> RO 공정의 전처리로 주로 사용되는 공정인 응집 및 여과는 RO 막에 오염(fouling)을 줄이기 위해 공급수의 SDI (Silt Density Index)를 낮추는데 사용되며, 보통 3 이하의 SDI 값은 RO 유입수로써 적합한 공급수로 알려져 있다.<sup>3-5)</sup> 그러나 대부분의 담수화 공정에서는 SDI 값이 4~5 사이에서도 적절하다고 보고된바 있으며, 이 값은 응집 및 모래여과(Dual Media Filtration)와 같은 전처리공법을 통해서 달성할 수 있다고 하였다.<sup>6,7)</sup>

SDI 지수는 RO 공급수 수질의 적합성을 나타내는 중요한 지표로 사용되고 있지만 SDI 측정에 사용되는 여과 셀은 전량여과(Dead-End Flow) 방식이며, 대부분의 상용 RO 막 모듈은 십자류흐름(Cross-Flow) 방식으로써 구동법이 다르다.

뿐만 아니라 SDI 측정 시 사용되는 막은 단지 0.45  $\mu\text{m}$ 의 공극크기만 제시되어 있을 뿐 막의 재질이나 현장요인에 대한 고려는 없는 실정이다.<sup>8,9)</sup> 따라서 SDI 지수는 RO 공급수의 오염 잠재력을 나타내는 하나의 지표일 뿐, 막 오염을 예측하기 위한 단독 지표로써 사용하기에는 문제점이 있다.<sup>10)</sup> 그러나 측정의 간편함 때문에 널리 사용되고 있으며, 현재까지 SDI를 대체할만한 예측 지수는 없는 실정이다. 그렇기 때문에 대부분의 현장에서는 SDI 지수가 RO 공급수의 수질을 결정하는 가장 중요한 값이다. 따라서 본 연구는 RO 막 공급수의 중요한 평가 지수인 SDI를 제어하기 위해 응집-여과 공정에 있어서 pH, 응집제 주입량 및 수온변화가 SDI 값에 미치는 영향을 알아보고 그에 따른 전처리 공정을 제어하기 위해 수행되었다. 또한 SDI 측정 시 SDI 수치에 영향을 미치는 막의 재질, 수온, pH 등의 영향을 조사하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 실험 재료

#### 2.1.1. 유입수 성상

본 연구에 사용된 해수 원수는 부산시 기장군 앞바다의 수

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

**Table 1.** Source seawater quality

Parameters	Unit	2010.06	2010.12
Temperature	°C	20.2	5.1
pH	-	8.2	8.0
Turbidity	NTU	1.65	1.24
UV <sub>254</sub>	cm <sup>-1</sup>	0.009	0.007
Alkalinity	mg/L as CaCO <sub>3</sub>	102	98
Conductivity	mS/cm	48.1	50.2
TDS	g/L	34.8	35.9
DOC	mg/L	-	0.8

**Table 2.** Analytical method and instruments

Item	Analytical method and instruments
Jar	Jar tester (Phipps & Bird, Model 7790-701B)
pH	pH meter (Horiba, F-54BW)
Conductivity	Conductivity meter (Horiba, F-54BW)
Turbidity	Turbidimeter (HACH, 2100N)
UV <sub>254</sub>	UV spectrophotometer (UV-1650PC, Shimadzu, Japan)
SDI	ASTM standard methods
TDS	APHA standard methods
DOC	TOC <sub>CPH</sub> (TNM-1, SHIMADZU)
Particle counts	USFilter (Vivendi)

심 5 m 지점의 해수를 채취하여 사용하였으며 그 특성을 Table 1에 나타내었다. 본 실험에 사용된 해수는 여름에는 수온이 20°C까지 상승하며 겨울에는 5°C까지 낮아진다. pH는 8.0~8.2로 일정하며, 평상시의 탁도는 2 NTU 이하로 낮은 편이다. 본 실험에 사용된 해수 채수 지점은 2012년 말 가동 예정인 45,000 m<sup>3</sup>/day 규모의 해수담수화 플랜트에 근접하여 위치해있다. 유입수의 수온은 필요시 수온조절 장치 (Buchi, Recirculating chiller B-740, Swiss)를 이용하여 5°C~20°C로 조절하여 실험하였고, 실험에 사용된 분석 항목 및 장비는 Table 2에 나타내었다.

**2.1.2. 응집 및 여과**

실험에 사용된 응집제는 염화제이철(FeCl<sub>3</sub> · 6H<sub>2</sub>O)을 사용하였으며 응집제는 0.25 M stock solution을 제조 후 실험하기 24시간 전에 초순수를 사용하여 10 g/L로 희석한 dosing solution을 사용하였다. Dosing solution 제조 시 희석에 의한 응집제 성상변화에 따른 오차를 최소화하기 위하여 FeCl<sub>3</sub> dosing solution을 실온에서 하루 방치하여 안정화 시킨 후 사용하였다. 응집실험에 사용된 Jar는 115 mm<sup>W</sup> × 115 mm<sup>L</sup> × 210 mm<sup>H</sup>인 정방향 2 L 사각 Jar를 2개를 붙여 각각 급속 교반조 및 완속 교반조로 사용하였다.

여과조는 내경 55 mm, 높이 1,000 mm의 아크릴 관을 이용하였으며, 여재 충전 높이는 400 mm, 유효경은 0.44 mm 그리고 균등계수는 1.32로 하였다. 실험에 사용된 여과 장치 설계 조건을 Table 3에 나타내었다.

**Table 3.** Characteristics of sand filter used in experiment

Property	Value
Depth	400 mm
Effective size	0.44 mm
Uniformity coefficient	< 1.32
Filter cell width	55 mm
Filter cell depth	1,000 mm
Filtration rate	8 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ·h

**Table 4.** Characteristics of membrane filters used for measuring SDI

Property	Filter code	HAWP	HVLP	HVHP
	Material	Hydrophilic MCE	Hydrophilic PVDF	Hydrophobic PVDF
Pore size (µm)		0.45	0.45	0.45
Filter diameter (mm)		47	47	47
Thickness (µm)		180	125	-

**2.1.3. SDI 측정 장치 및 필터**

SDI 측정기기는 0.48~0.83 Mpa 토출압력을 가지는 모터 (KOTEC, DX-8000-0350)를 사용했으며, 0.05~0.85 MPa 범위를 가진 압력조절기(CKD, R1000)를 사용하여 구성되었다. 직경 47 mm 크기의 여과 필터를 고정시킬 In-Line Filter Holder (Millipore, O.D 76 mm, Length 120 mm)가 사용되었다. 이 장치는 일정 압력 하에 전량여과방식으로 설치되었으며, 막은 투과흐름에 수직으로 설치된다. 실험에 사용된 막은 Millipore 제품의 친수성(hydrophilic) 재질의 막 2종류와 소수성막(hydrophobic) 1종류를 선택하였으며 사용된 막의 재원을 Table 4에 나타내었다.

**2.2. 실험 방법**

응집 공정 운전은 제조한 FeCl<sub>3</sub> 용액을 정량펌프를 사용하여 응집조로 공급하였고, 급속혼화와 완속혼합의 교반속도는 각각 250 rpm과 60 rpm, 교반시간은 각각 1분과 10분으로 하여 실험하였다. 응집후 자연유하방식으로 여과조로 유입하였으며 여과속도는 8 m/hr이다. 여과조를 통과한 여과수는 여과시간 20분 후 채수하여 SDI<sub>15</sub>를 측정하였다. 역세척 방법은 여과조 하부로 처리수를 공급하여 여과층이 30% 정도 팽창되도록 하였다. 유입수의 수온은 필요시 수온조절 장치를 이용하여 조절 후 응집조로 유입되게 하였고, 일부 실험에서는 여과조를 GF/C 필터로 대체하여 실험하였다. pH의 조절은 0.1N NaOH 와 0.5 N HCl를 사용하였다.

SDI 측정 방법은 ASTM 표준 방법에따라 실험하였으며, 0.2 MPa 압력으로 공극 크기 0.45 µm 필터의 오염되는 속도로부터 결정되고 그 식은 다음과 같다.<sup>11)</sup>

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

여기서  $t$ 는 총 경과 시간(분)이고,  $t_1$ 은 최초 500 mL 물이 여과되는데 요구되는 시간(초)이며,  $t_2$ 는  $t_1$ 시간 뒤에 500 mL 물이 여과되는 시간(초)이다.<sup>12)</sup> 이러한 SDI 값은 민감한 변수이고, 실험 오차를 줄이기 위해 측정 전 장비 세척 및 막 표면의 공기방울 제거 등 세심한 주의가 필요하다.<sup>9)</sup> 일반적으로  $t$ 값이 15인  $SDI_{15}$ 를 주로 측정하며 시료의  $SDI_{15}$  측정이 용이하지 않은 경우  $t$ 값을 5 또는 10으로 조절하여 측정한다.  $SDI_5$ ,  $SDI_{10}$  및  $SDI_{15}$ 의 범위는 각각 0~20, 0~10 및 0~6.67이다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 탁도 변화에 따른 SDI

일반적으로 응집처리 할 시료의 탁도가 낮으면 flocc 형성에 필요한 입자들의 충돌빈도가 낮기 때문에 응집 효율이 떨어진다고 알려져 있다.<sup>13)</sup> 이러한 응집효율의 저하는 또한 후속공정인 여과 효율에 영향을 미친다. 따라서 본 실험은 해수원수의 부족한 탁도를 보충하기 위해 실 공정에 사용되는 이층여과조의 역세수를 첨가하여 원수의 탁도인 0.875 NTU에서 2.5, 10, 15 및 20 NTU 되게 하여 응집 및 여과 후 SDI를 측정 하였으며, 그 결과를 Fig. 1 및 Table 5에 각각 나타내었다. 그 결과를 살펴보면 탁도를 높여 실험하였을 때 응집 후 여과효율에 큰 영향을 미치지 않은 것으로 조사되었다. 2.45 NTU의 탁도에서는 SDI 값이 5.69로 측정되어 약간의 여과 효율 개선을 보였고 여과 초기 탁도 제거 효율 또한 약간 더 좋은 것으로 나타났다. 그러나 원수

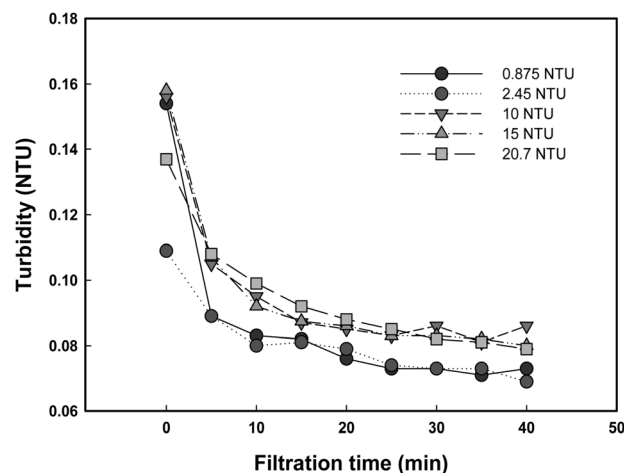


Fig. 1. Changes in turbidity of filtered water with respect to filtration time under various seawater turbidities.

Table 5. Filtrate  $SDI_{15}$  values at 20°C under various turbidity conditions of seawater

Coagulant conc.	6 mg/L as $FeCl_3$				
Flocculation condition	60 rpm / 10 min				
Initial turbidity	0,875	2,45	10	15	20,7
Filtrate $SDI_{15}$	5,96	5,69	5,95	5,93	5,95

에 대한 인위적인 탁도 증가가 응집 및 여과 후 SDI 값에 일부 영향을 주었지만 RO 공급수로 적합한 SDI 값을 나타내지 못하였다. 이러한 이유는 응집 공정 보다는 여과 효율에 문제가 있는 것으로 판단된다. 원수 시료를 응집 전처리 없이 GF/C 필터(pore size 1.2  $\mu m$ )로 여과했을 때 SDI 값이 4.0~4.2 (20°C) 범위이며, 응집 전처리 후 GF/C 필터로 여과했을 때의 SDI 값은 3.21이었다. 실험 시 원수 시료의 pH는 8.21, 수온은 20°C 그리고 철염 응집제 주입량은 10 mg/L였다. 그리고 응집 전처리를 한 것과 하지 않은 것 모두 Whatman NO. 1 (pore size 11  $\mu m$ ) 필터로 여과 시 SDI 값은 6 이상이었다. 따라서 여과조에서 여과에 의해 제거시킬 수 있는 한계 입자의 크기는 1.2~11  $\mu m$  크기인 것으로 판단된다. 동일한 기장 지역 해수를 사용한 Kim 등<sup>14)</sup>의 연구결과에 따르면 모래여과 후 SDI 값이 3이상을 초래하는 입자의 크기는 2~7  $\mu m$  사이의 범위인 것으로 보고하였다. 또한 Wolf 등<sup>15)</sup>은 재래식 RO 전처리 공정인 응집-여과에 의하여 RO 유입수의 수질조건인  $SDI < 3\sim 4$ 를 충족시키기 어려운 이유는 10~15  $\mu m$  이하의 입자상 물질 제거효율이 낮기 때문이라고 하였다. 본 실험에 사용된 여과조로는 일반적인 응집-여과 공정에서 달성할 수 있는 4-5의 SDI 값을 얻을 수 없기 때문에 일부 실험에서는 해수 원수 시료를 GF/C 필터로 여과하여 실험하였다.

#### 3.2. 막 재질이 SDI에 미치는 영향

Table 6에는 시료를 GF/C 필터로 여과 후 pH를 조절하여 3종류의 SDI 측정막을 사용하여 막의 재질과 성분 따른 SDI 변화를 나타내었다. 실험에 사용된 시료의 수온은 20°C였다. 그 결과 친수성 재질의 HAWP 및 HVLP 막이 pH 8에서  $SDI_5$ ,  $SDI_{10}$  및  $SDI_{15}$  값이 각각 7.94, 5.05 및 4.12 그리고 4.31, 3.80 및 3.62로 나타났으며 pH 9에서  $SDI_{15}$  값은 각각 4.15 및 3.59로 측정되었다. 그러나 소수성 HVHP 막은 pH 8에서  $SDI_5$ ,  $SDI_{10}$  및  $SDI_{15}$  값이 각각 19.68, 9.86 및 6.54로 나타났으며 pH를 9로 증가 시켰을 때  $SDI_{15}$  값은 측정이 불가능하게 높게 나타났다. 따라서 SDI 값은 SDI 측정에 사용된 막의 재질 특성인 hydrophobicity와 측정 시료의 pH에 매우 민감한 것으로 나타났다. 일반적으로 소수성 재질의 막이 친수성 재질의 막에 비해 구조적인 안정도와 열역학적 안정성이 뛰어나다고 알려져 있으나, 콜로이드성 물질이나 용존성 물질이 수중에 존재하는 경우 셀룰로오스와 같은 친수성 폴리머로 이루어진 막이 폴리술폰이나 폴

Table 6. Comparison of SDI values according to membrane materials used in tests

Filter code	SDI values with different filter		
	SDI <sub>15</sub> value		SDI <sub>5</sub> / SDI <sub>10</sub> (pH 8)
	pH 8	pH 9	
HAWP	4,12	4,15	7,94 / 5,05
HVLP	3,62	3,59	4,31 / 3,80
HVHP	6,54	-	19,68 / 9,86

리에테르술폰과 같은 재질의 소수성 막에 비해 막 오염이 덜 일어나는 경향이 있다.<sup>16)</sup> 또한 소수성 재질의 막이 친수성보다 흡착 강도가 더 크기 때문에 공극 내 입자의 흡착률이 더 커서 flux의 감소가 빠르게 나타난다.<sup>17)</sup> 그러므로 초기 막 투과 유량과 일정시간 후의 막 투과 유량의 관계에 의해 결정되는 SDI 측정법에 있어서 소수성 막의 사용은 그 결과에 비교적 영향을 덜 미치는 크기 0.45 μm 미만의 입자들까지 흡착시킬 수 있기 때문에 적합하지 않다고 판단된다.

### 3.3. pH 변화가 SDI에 미치는 영향

친수성 재질인 HAWP 막을 선택하여 pH 변화가 SDI 값에 미치는 영향을 Fig. 2 및 Table 7에 나타내었으며 GF/C 필터로 여과한 샘플의 pH를 각각 5, 6, 7, 8, 및 9로 조절하여 실험하였다. 실험에 사용된 시료의 수온은 20°C였다. pH 7에서 pH 5로 감소할수록 SDI 값은 3.90에서 4.21로 증가하였다. 반면에 pH 7에서 pH 9로 증가하였을 때 SDI 값은 3.90에서 3.92로 차이가 없었다. 이는 pH 저하에 따른 입자들의 음(-)전하 감소에 의한 결과로 판단된다. pH 변화에 따른 입도분석 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 결과에 나타낸 바

**Table 7.** Effect of sample pH on SDI values after GF/C filtration at 20°C

	pH 5	pH 6	pH 7	pH 8	pH 9
SDI <sub>5</sub>	9.48	9.07	8.36	8.25	8.28
SDI <sub>10</sub>	5.80	5.56	5.29	5.20	5.21
SDI <sub>15</sub>	4.27	4.10	3.90	3.91	3.92

와 같이 pH가 감소할수록 10 μm 크기 이하의 입자의 수가 감소한 것을 볼 수 있다. 이는 해수의 경우 pH 감소만으로도 미세 floc이 형성된다는 것을 알 수 있었다.

Mosset 등<sup>9)</sup>은 UF (ultrafiltration) 생산수를 사용한 pH 변화에 따른 SDI 측정 실험에서 pH가 7에서 5로 감소될 때 SDI 값은 4에서 4.5로 증가하며 pH가 7에서 8로 증가할 때 SDI 값은 4에서 6으로 크게 증가하는 연구 결과를 보고하였다. 이러한 이유는 해수 중 칼슘 및 마그네슘 이온들이 pH 증가와 함께 스케일 유발 물질인 금속 침전(metal precipitation)물을 형성하기 때문이라고 보고하였다. 그러나 본 실험에서는 pH 감소에 따른 SDI 값의 증가는 선행 연구 결과<sup>9)</sup>와 유사한 경향을 보였으나 pH의 증가에 따른 SDI 값은 변화가 없었으며 Fig. 3에 나타낸 것처럼 5~7 μm 크기 이하의 입자들의 수가 약간 증가하는 경향을 나타냈다. 따라서 pH의 증가에 따라 형성되는 금속침전물이 SDI에 미치는 영향은 낮을 것이라고 판단된다. 그러나 탄산칼슘은 RO막에 손상을 줄 수 있는 중요한 스케일 유발 물질 중 하나이며<sup>3)</sup>, 스케일을 제어하기 위해 pH 감소는 필수적이다.<sup>5,18)</sup> 따라서 FeCl<sub>3</sub>의 응집 pH 범위가 6~9로 넓은 응집 범위를 가지고 있더라도 스케일 방지를 위해 pH를 6~7 범위로 조절해야 할 것이며 이에 따라 SDI 값은 일부 증가될 것으로 판단된다.

### 3.4. 수온 및 응집제 주입량 변화에 따른 SDI 값 변화

기장 지역은 겨울철과 여름철 수온차가 15°C 정도이며, 수온변화에 따라 응집 효율과 해수의 점성이 변한다. 따라서 수온 변화에 따른 응집 효율 및 SDI 변화를 살펴보기 위해, 수온 5, 10 및 20°C에 따라 철염(FeCl<sub>3</sub>) 주입량을 낮은 농

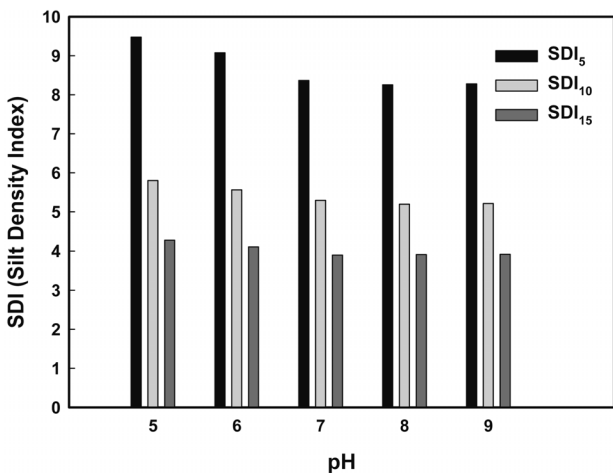


Fig. 2. Effect of pH on SDI values after GF/C filtration at 20°C.

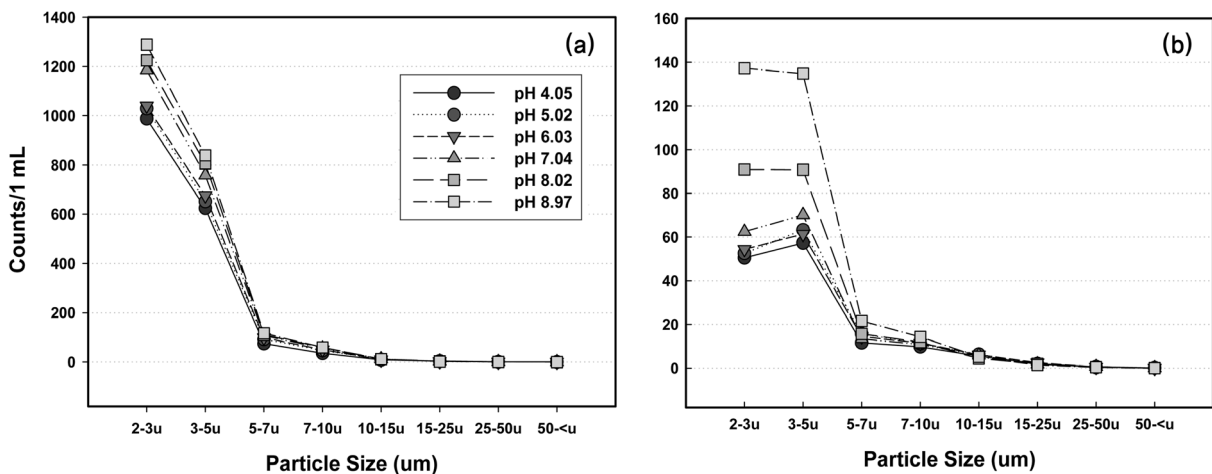


Fig. 3. Effect of pH on the particle size distribution: (a) before GF/C filtration, (b) after GF/C filtration.

도(2 mg/L)와 높은 농도(10 mg/L)로 하여 급속교반(250 rpm) 1분, 완속교반(60 rpm) 10분 조건으로 응집 후 GF/C 필터로 여과하여 SDI를 측정하였으며 그 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 시료의 수온을 5°C, 10°C 및 20°C로 조절하고 응집을 하지 않은 시료를 GF/C 필터로 여과 후 SDI 값을 측정했을 시 각각 3.67, 3.89 및 3.94로 수온이 증가할수록 점성 변화에 따른 SDI 값도 상대적으로 증가하는 경향을 보였다. 이러한 결과는 수온과 유체의 점성의 관계에서 기인한 것으로 UF 생산수의 수온을 변화시켜 SDI 값을 측정한 연구에서<sup>8,20</sup> 수온이 증가함에 따라 감소되는 물의 점성에 의해 SDI 측정 막을 통과하는 flux의 증가로 막을 빠르게 오염시켜 상대적으로 SDI 값을 높이기 때문이라고 하였다. Fig. 4에 나타난 것처럼 응집제 주입농도를 10 mg/L 주입하였을 때 SDI 값은 수온 변화와 상관없이 5, 10 및 20°C에서 각각 3.21, 3.07 및 3.21로 나타나 수온 변화에 따른 SDI 값 변화보다 응집이 더 큰 비중을 차지하는 것으로 나타났다. 그러나 응집제 주입농도가 2 mg/L에서는 수온을 5, 10 및 20°C로 변화시키기에 따라 SDI 값이 각각 3.34, 3.48 및 3.78로 응집을 하지 않은 시료의 SDI 값보다 낮게 나타났지만 수온을 증가시키기에 따라 SDI 값 또한 증가하는 경향을 나타내었다. 응집 효율과 수온은 밀접한 연관성이 있으며<sup>21</sup> 수온이 증가하면 Fe(III)염의 가수분해 속도가 가속되어 응집에 긍정적인 영향을 미친다고 알려져 있다.<sup>22,23</sup> 그러나 낮은 응집제 농도(2 mg/L)에서는 응집 후에도 수온에 영향을 받는 것으로 나타났다. 따라서 응집 후 SDI 측정 시 응집제 주입농도가 낮으면(2 mg/L) 수온에 의한 영향을 크게 받으며 응집제 주입농도가 높으면(10 mg/L) 수온보다 응집 효과에 큰 영향을 받는 것으로 판단된다. Kang 등<sup>24</sup>은 저 수온(5°C)에서 Fe(III)염을 사용한 응집 시 낮은 응집제 주입량에 의한 (charge neutralization) 응집 효율이 높은 응집제 주입량(sweep coagulation)에 의한 응집효율에 비하여 영향을 더 크게 받는다고 하였다.

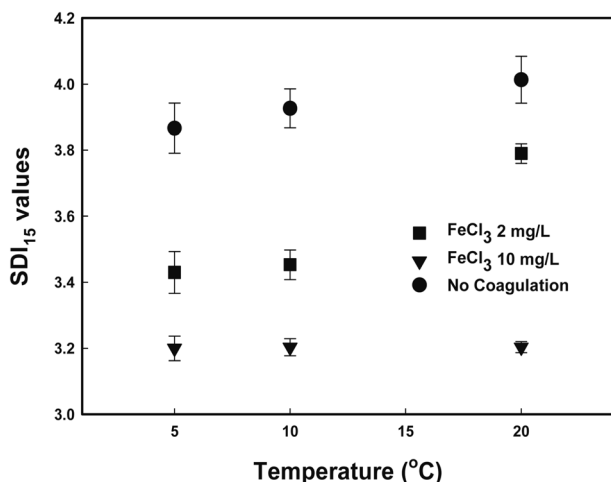


Fig. 4. SDI values at different temperatures under different coagulation conditions.

## 4. 결론

본 연구에서 탁도, pH, 수온 등의 현장 요인이 RO 전처리 공정 효율 및 SDI 측정값에 미치는 영향에 대한 연구 결과는 다음과 같다.

- 1) 저탁도의 해수 원수에 대해 적정 응집제 주입량(6 mg/L as FeCl<sub>3</sub>) 사용시 원수의 탁도 변화는 여과수의 SDI 값에 미치는 영향이 거의 없었다.
- 2) SDI 실험에서 소수성 막 보다 동일한 재질의 친수성 막을 이용하는 것이 분석 결과의 신뢰성과 재현성을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.
- 3) pH 변화와 SDI 값은 pH가 감소함에 따라 SDI 값이 증가하는 경향을 나타내었으며 pH가 7 이상으로 증가할 때는 SDI 값은 변화가 없었다.
- 4) 수온의 변화가 SDI에 미치는 영향에 대해서 SDI는 수온 보다 응집제 효과에 큰 영향을 받는 것으로 나타났다. 따라서 응집-여과 전처리에서 수온에 의한 SDI 증가 시 수온과 응집효과가 SDI 측정값에 미치는 영향을 고려하여야 한다고 판단된다.

## 사사

이 논문은 2012년도 플랜트 고도화사업의 해수담수화 플랜트 고효율 운영 및 유지관리(12-seahero-b04-01) 과제의 지원으로 연구되었으며 이에 감사드립니다.

KSEE

## 참고문헌

1. Bates, W. T. and Cuozzo, R., Integrated membrane systems. Hydranautics Available from: [http://www.membranes.com/docs/papers/01\\_ims.pdf](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. 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).
4. Reverter, J. A., Talo, S. and Alday, J., "Las Palmas III-the success story of brine staging," *Desalination*, **138**, 207-217 (2001).
5. 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/Soslaire%20Canarias%20Desalination%20Plant.pdf (accessed 25.05.08.)(2005).
6. Bu-Rashid, K. A. and Czolkoss, W., "Pilot tests of multi-pore UF membrane at Addur SWRO desalination plant," Bahrain. *Desalination*, **203**, 229~242(2007).
  7. Chua, K. T., Hawlader, M. N. A. and Malek, A., "Pretreatment of seawater: results of pilot trials in Singapore," *Desalination*, **159**, 225~243(2003).
  8. 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).
  9. 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).
  10. Fritzmam, C., Wenberg, J., Wintgens, T. and Melin, T., "State-of-the-art of reverse osmosis desalination," *Desalination*, **216**, 1~76(2007).
  11. Standard Test Method for Silt Density Index (SDI) of water, D 4189-95 ASTM.
  12. Wilf, M. and Bartels, C., "Integrated membrane desalination systems-current status and projected development," Hydraulics Available from: <http://www.membranes.com/docs/papers/New%20Folder/Abstract%20for%20Tianjin%20-%20Hydraulics.pdf> (accessed 17.05.08.)(2006).
  13. Amirtharajah, A. and O'Melia, C. R., "Coagulation process: destabilization, mixing, and flocculation," In Water Quality and Treatment, 4th Ed., McGraw-Hill, NY(1990).
  14. 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 and Water Treatment*, **33**, 329~336(2011).
  15. Wolf, P. H., Sivenns, S. and Monti, S., "UF membranes for RO desalination pretreatment," *Desalination*, **182**, 293~300 (2005).
  16. Crittenden, J. C., Luft, P. J. and Hand, D. W., "Prediction of multicomponent adsorption equilibria in background mixtures of unknown composition," *Water Res.*, **19**(12), 1547~1548(1985).
  17. Tipping, E. and Malcolm, R., "Aggregation of Aquatic Humic Substance," *Chem. Geol.*, **15**(4), 463(1981).
  18. Hasson, D., Drak, A. and Semiat, R., "Inception of CaSO<sub>4</sub> scaling on RO membranes at various water recovery levels," *Desalination* **139**, 73~81(2001).
  19. Rahardianto, A., Shih, W. Y., Lee, R. W. and Cohen, Y., "Diagnostic characterization of gypsum scale formation and control in RO membrane desalination of brackish water," *J. Membr. Sci.*, **279**, 655~668(2006).
  20. Alhadidi, A., Kemperman, A. J. B., Blankert, B., Schippers, J. C. and Wessling, W. G. J., "Silt Density Index and Modified Fouling Relation, and effect of pressure, temperature and membrane resistance," *Desalination*, **273**, 48~56(2011).
  21. Morris, J. K. and Knocke, W. R., "Temperature effects on the use of metal ion coagulants for water treatment," *J. Am. Water Works Assoc.*, **76**(3), 74~79(1984).
  22. Lynn, C., "Hydrolysis of Inorganic Iron(III) salts," *Chem. Rev.*, **84**, 31~41(1984).
  23. Hem, J. D. and Roverson, C. E., "Aluminum Hydrolysis Reaction and Products in Mildly Acidic Aqueous System," *Chem. Modeling of Aqueous Syst. II, Proc., ACS Symposium Series*, **416**, 429~449(1990).
  24. Kang, L. S. and Cleasby, J. L., "Temperature effects on flocculation kinetics using Fe(III) coagulant," *J. Environ. Eng., ASCE*, **121**, 893~910(1995).