

# 역삼투막식 담수화 장치의 전처리 방안



**신 항 식**

(한국과학기술원 토목공학과)

- '71 서울대학교 토목공학과(학사)
- '74 서울대학교 대학원 위생공학 석사
- '82 미국 Penn. State Univ. 환경공학 박사
- '93 - 현재 한국유기성폐기물 자원화협회 회장
- '94 - 현재 한국과학기술원 맑은물 연구센터 소장
- '84 - 현재 한국과학기술원 토목공학과 교수



**박 희 경**

(한국과학기술원 토목공학과)

- '80 서울대학교 토목공학과(학사)
- '82 서울대학교 토목공학과(환경전공, 석사)
- '90 미국 일리노이주립대학 토목공학과(박사)
- '90 - '95 미국 HARZA사 Professional Engineer
- '95 - 현재 한국과학기술원 토목공학과 교수



**강 석 태**

(한국과학기술원 토목공학과)

- '95 한국과학기술원 토목공학과(학사)
- '95 - 현재 한국과학기술원 토목공학과 석사과정

## 1. 서론

물은 생명체에 있어서 차지하는 비중이 가장 크며, 따라서 모든 생물체가 살아가는데 있어서 필수불가결한 것이다. 인간의 생활이나 인류문명의 발달도 물을 중심으로 하여 전개되어 왔으며 현대의 모든 산업 발전에 기본이 되었다.

지구상의 물은 육지, 바다, 대기중으로 산재하여 있으나 산업에 직접 이용할 수 있는 물은 육지에 존재하고 있다고 할 수 있다. 그러나 지구에 존재하는 물중 육지의 물이 차지하는 비율은 전체 14억 km<sup>3</sup> 중 0.8%에 불과한 반면, 인류는 생활 및 활동에 필요한 물의 대부분을 육지에서 구하므로 인구의 증가와 산업의 발달은 지역에 따라 물 이용의 한계를 유발하고 있는 실정이다[1].

국내의 경우 최근 계속된 가뭄과 앞으로 예측되는 물 부족을 경고한 연구결과들의 발표로 새로운 수자원 개발에 대한 요구는 점차 증대되고 있는 실정이다. 특히 최근에 확정된 정부의 물관리 종합대책에 따르면 정부에서는 광역상수도의 확충, 댐건설, 홍수통제의 과학화, 하·폐수의 재이용기술 개발, 지하수 개발등과 아울러 해수의 담수화 및 인공강우와 선진기술 개발에 관해서도 새로운 청사진을 제시하고 있다[2]. 그러나 댐이나 지하수 이용량에는 한계가 있고 재이용수의 경우 제한된 부분에만 이용할 수 있는 단점이 있어 이러한 방법으로는 물부족 현상을 근본적으로 해결할 수 없다. 따라서 물부족 현상의 근본적인 해결 방안은 기존의 육지의 물 이외의 새로운 수원을 개발하는 것이라 할 수 있다. 이러한 면에서 살펴

불 때 새로운 수원으로 가장 매력적인 것은 지구 상 물의 98%를 차지하는 해수라 할 수 있다.

해수를 담수화방법에는 크게 증발법, 역삼투막법, 전기투석막법, 냉동법등이 있으나, 증발법과 역삼투막법이 전체 담수화 시설의 90%이상을 차지하고 있다. 이러한 증발법과 역삼투막법에 있어 전체 시스템의 효율에 영향을 미치는 중요한 요 인중의 하나는 원수의 성상이라 할 수 있다. 원수 에 포함된 여러종류의 유기성, 무기성 화합물들은 담수화 장치, 특히 역삼투막 장치에 있어서 치명 적인 영향을 미칠 수 있으므로 이러한 물질을 사 전에 제거하는 것은 전체 시스템의 효율향상에 매우 중요하다.

본 고에서는 담수화 장치중 역삼투막 공정을 대상으로, 역삼투막 공정에 영향을 미칠 수 있는 인자를 살펴보고 각각의 인자에 대하여 적절한

전처리 과정을 제안하고, 아울러 일반적인 역삼투 막 담수화설비의 전처리에 사용되는 공정에 대해 여 살펴본다.

## 2. 역삼투막식 담수화 공정의 개요

간단한 소규모의 역삼투막식 담수화 공정은 다 음의 그림 1과 같은 공정도를 갖는데 특성상 공 정은 가능한 한 간단하고 튼튼한 것이어야 한다. 취수된 원수는 응집제와 함께 모래 여과로 이동 되는데, 여과장치는 부유고형물에 오염될 수 있으 므로 물세척 장치와 공기세척 장치를 가지고 있 는 것이 보통이다. 모래여과후 원수는 분리제로 황산칼슘 등의 침전을 방지하고 산을 이용하여 pH를 5.5~6.2로 유지시켜 마그네슘과 칼슘의 침 전을 방지한다. 최종조작으로 역삼투막에 직접 유

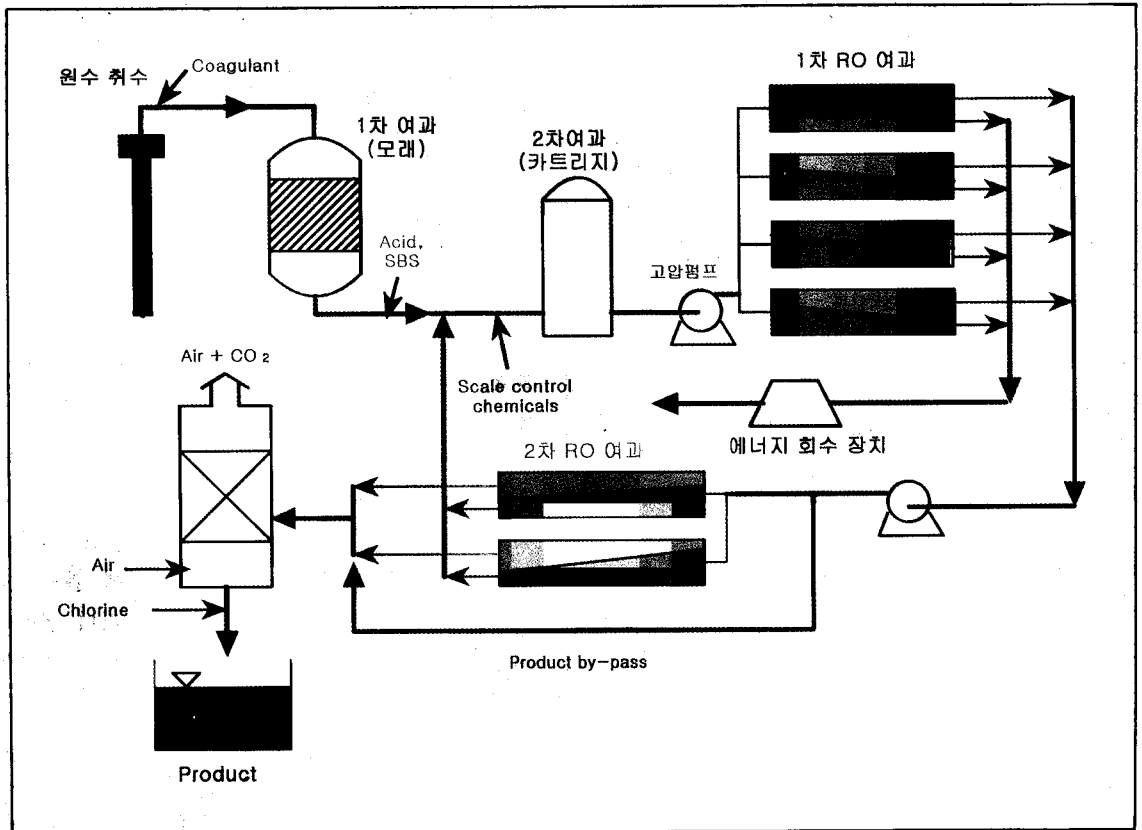


그림 1. 소규모 역삼투막식 담수화 장치의 공정도

입하는 고압펌프 전에 카트리리지 필터로 원수내 입자를 5~10 $\mu$ m 정도까지 걸러낸다. 고압펌프의 에너지로 역삼투막에서 분리가 일어나고, 투과수는 경도 등을 조정 한 후에 소독하여 최종 처리수를 얻는다.

역삼투막식 담수화 장치의 전체 공정은 크게 전처리공정-역삼투공정-후처리 공정으로 분리할 수 있지만 전처리 공정에 비해 다른 두 공정은 상대적으로 장치가 간단하고 조작도 비교적 용이하다. 전처리 공정은 다른 두 공정의 효율을 결정하는 인자이며 실제 공정에서도 초기 시설비의 40%, 유지비의 60% 정도를 차지하고 있다[4]. 또한 상대적으로 역삼투 공정이나 후처리 공정은 설비에 대한 일반적인 표준이 정립된 상태이나 전처리공정은 원수의 성상에 따라 전체 공정의 변화가 심하기 때문에 다른 두 공정에 비해 까다로운 공정 선택이 요구된다.

### 3. 전처리공정 개요

#### 3.1 전처리공정의 필요성

역삼투막을 이용하는 담수화 설비에 있어서 담수화의 진행은 역삼투 막에 의해서 일어난다. 따라서 막의 상태는 담수화 장치의 효율과 직결된다고 할 수 있다. 막의 성능을 좋게 유지하고 가능한 한 장기간 사용하기 위해, 역삼투막 자체의 세정외에 막에 원수를 공급하기 전에 미리 막에 나쁜 영향을 미치는 물질을 제거하는 전처리를 해야 한다. 그러나 막의 세정은 이미 막이 오염된 후에 이루어지는 것이기 때문에 그 효과가 일시적이고 세정과정중 막면 손상을 유발하기 쉽다. 그러므로 막이 오염되기 전에 처리하는 것이 더 효율적이라 할 수 있다.

해수중에는 용존성 염류외에 미생물, 미세한 모래, 콜로이드상 물질등이 존재하고 이것들이 막면에서 눈막힘(fouling) 현상을 일으켜 역삼투 모듈의 압력손실, 막성능의 저하를 유발한다. 또한 해수는 칼슘 및 마그네슘 경도가 높아 모듈내에서

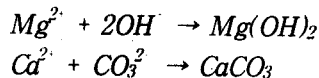
해수가 농축될 때 칼슘과 마그네슘이 막면에서 석출(scaling)하기도 한다. 따라서 역삼투 과정의 성능향상과 주변 기기의 수명 연장을 위해서 해수에 대한 전처리가 필요하게 된다.

역삼투막 공정을 이용한 담수화 장치에 있어서 전처리의 정도와 방식은 원수의 성상에 따라 결정되지만 막재료, 모듈형태에 따라서도 다양한 형태의 전처리 공정을 구성할 수 있다.

#### 3.2 해수의 특성

해수를 담수화하는 공정에 있어 시스템의 개발, 설계 및 운전을 하기 위해서는 우선 해수의 특성과 조성을 파악하여야 하는데 전처리 공정에서 특히 중요한 해수의 특성은 염도, 유기물질 농도, 온도, pH등이다.

해수의 염도는 측정기관과 장소 및 시간에 따라 차이가 있지만 주요 성분의 상대적인 양은 어디서나 거의 동일하다고 알려져 있다[5]. 따라서 해수의 염도를 결정하면 해수에 포함된 여러 무기물질의 농도를 결정할 수 있게 된다. 해수의 염도를 결정하는 무기물질은 역삼투 막에의해 농축되면서 막면에서 석출을 일으키거나 그밖의 장치를 부식시키게 된다. 석출을 일으키는 주요 물질은 Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, CaSO<sub>4</sub>, BaSO<sub>4</sub>, SrSO<sub>4</sub>와 마그네슘 염이다. 대표적인 석출 반응식은 다음과 같다.



각 스케일은 운영조건에 따라 생성되는데 -예를 들면 Mg(OH)<sub>2</sub>는 온도와 pH가 높을 때 주로 생성된다.-스케일의 생성을 예측하는 지표로 석출지표(SI,scaling index)가 이용된다.

$$SI = pH_{actual} - pH_{saturation}$$

$$pH_{saturation} = K + pCa + pAlk$$

K=해수의 이온화 상수와 관련된 상수

이밖에도 해수에는 상대적으로 안정한 물질인

실리카(SiO<sub>2</sub>)나 유기물이 입자의 형태로 존재하여 눈막힘 현상을 일으키는데 이들은 다른 스케일 원인물질과는 달리 유기산에 안정하기 때문에 역세척으로는 제거되지 않는다. 따라서 전처리 단계에서 실리카와 유기물 같은 입자상물질의 제거가 필요한데 해수내 이러한 물질의 존재량을 결정하는 지표로는 PF(Plugging Factor)와 SDI(Silt Density Index)가 사용된다[6]. PF의 계산은 30 psi의 압력하에서 0.45μm공극의 필터에 500ml를 통과시킨후 통과시작 15분후에 다시 500ml를 통과시켜, 처음 500ml가 통과하는데 소요된 시간 T<sub>i</sub>와 15분후 500ml가 통과하는데 소요된 시간 T<sub>f</sub>라 할 때 흐름의 감소량을 백분율로 나타낸 것이다.

$$Plugging\ Factor(\%) = 100 \times (1 - T_i/T_f)$$

SDI는 이렇게 구한 PF를 측정시간 간격으로 나눈 값으로 정의된다.

$$SDI(\%/min) = PF/15$$

해수의 성장중 전처리에 영향을 미치는 또 다른 인자로는 온도가 있다. 해수는 계절 및 위치에 따른 변화 이외에도 깊이에 따라서도 큰 차이를 보이게 된다. 근해의 경우 해수의 온도분포는 보통 겨울에는 5℃내외, 여름에는 25℃ 내외가 된다. 깊이에 따른 온도차는 여름의 경우 10m당 3~5℃가 보통이다[7].

### 3.3 역삼투 막의 성질

해수를 담수화하는 직접적인 과정은 막에 의한 분리현상이라 할 수 있다. 따라서 막의 재질에 따른 특성을 이해하면 전처리과정에서의 효율을 향상시켜 막의 수명 연장이 가능하게 된다.

역삼투공정에 사용되는 막은 크게 재질과 모듈의 형태에 따라 구분할 수 있다. 역삼투 막의 모듈은 막을 감은 형태라 할 수 있는데 다시 관형, 판구조형, 나선형, 중공사형등으로 분류된다(보다

자세한 내용은 본지 8권 1호(1996년 봄호)의 '담수화 기술현황'을 참고.)

역삼투막 공정에 있어 모듈에 따라 눈막힘현상(fouling)의 발생 빈도수와 발생시 세정의 용이성이 다르게 되는데 원수의 특성을 파악하여 그에 적당한 모듈을 선택하는 것이 전처리과정의 구성에 영향을 주게 된다. 다음의 표1에서 몇가지 모듈의 특성을 비교하였다.

표 1. 모듈의 특성 비교[8]

형 태	관 형		판구조형	나선형	중공사형
	내압형	외압형			
충진밀도 (m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )	328	328	492	656	9,180
투과유속 (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ·day)	1	0.61	1	1	0.073
단위용적당 투과량 (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ·day)	502	200	502	670	670
지지체 구조	복 잡	간 단	복 잡	간 단	간 단
눈막힘 현상	어려움	어려움	유료에 따라 다름	쉬움	쉬움
세 정	곤란	간 단	곤란	곤란	곤란

막을 구성하는 재료는 기술의 발전에 따라 세라믹을 이용한 막에 이르기까지 개발되고 있는 실정이지만 일반적으로 역삼투 공정에 사용되는 분리막은 크게 초산 셀룰로오스계(Cellulose Acetate, CA) 및 폴리아미드계(Polyamide, PA)로 나눌 수 있다. 역삼투를 이용한 해수의 담수화 장치에 있어서 유지비의 대부분은 역삼투 막의 교환비용이라고 할 수 있으므로 각각의 재료적 특성을 이해하여 막에 손상을 주거나 수명을 단축시킬 수 있는 요인을 제거하여야 한다. 전처리와 관련된 막의 재료적 특성은 표 2와 같다.

해수의 특성에 대한 조사가 이루어지면 조사된 특성에 따라 위의 표 1 및 2를 참조하여 적당한 형태의 막을 선택하게 되는데 소규모 장치의 경우 판형모듈과 PA계 막을 사용하는 것이 일반적이다.

표 2. 막의 특성비교[9]

특 성	Polyamide 계 (PA)	Cellulose Acetate 계 (PA)
▶ 해수에의 적용성		
→ 적용 pH	2 ~ 11	5 ~ 6
→ 적용온도 범위	0 ~ 45 ℃	0 ~ 30 ℃
▶ 운전 압력(Psig)	180 ~ 350	350 ~ 550
▶ 시간 경과에 따른		
→ 염분 투과정도	안 정	증 가
▶ 세정 범위		
→ 온도	~ 50 ℃	30 ~ 35 ℃
→ pH	1 ~ 12	2.5 ~ 6.5
▶ 미생물 영향	영 향 없 음	영 향 받 음
▶ 물리화학적 성질		
→ 산화제에 대한 안정성	불 량	양 호
→ 시간 경과에 대한 안정성	양 호	불 량

#### 4. 전처리과정의 세부사항

막의 눈막힘현상을 야기시키는 원인물질은 성질에 따라 3가지로 분리할 수 있는데 첫째는 물리적 원인물질로 SDI로 측정되는 값이고, 두 번째는 화학적 원인물질로 석출을 일으키는 무기염들로 CaCO<sub>3</sub>, CaSO<sub>4</sub>, BaSO<sub>4</sub>, SrSO<sub>4</sub> 등을 일컫는다. 세 번째는 생물학적 원인물질로 전처리 단계시 가장 문제가 되는 유기물질과 미생물을 말한다 [10].

##### 4.1 물리적 전처리

###### 4.1.1 온도 조정

일반적으로 해수가 1℃ 상승하면 막에서의 투과량은 2%정도 증가한다. 그러나 온도가 증가할수록 염의 배제율은 떨어지므로 전체적인 담수의 효율면에 있어서는 어느정도 일정하다고 할 수 있다. 따라서 막의 재질에 따른 상한과 역삼투 막의 침투수 내에 포함된 염분의 상한에 따라 적정온도가 정해지게 된다. 또한 해수의 온도가 상승할수록 시간에 따른 투과량의 변동이 그림 2와 같이 심하게 된다. 그러므로 막의 특성을 고려하여 해수의 온도를 막의 성능에 맞도록 조정하는

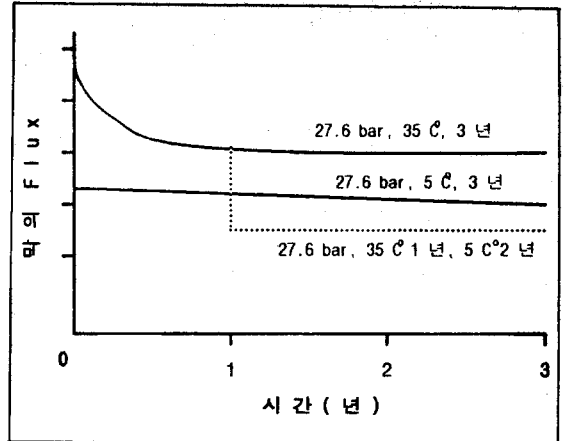


그림 2. 온도변화에 따른 투과량의 시간적 변화[S]

것이 필요하다.

일반적인 막은 운전온도가 20~30℃ 정도인 것이 보통인데 해저우물이나 수심이 깊은 곳에서 해수를 취수하는 경우 온도가 4~12℃ 정도이므로 가온을 할 필요가 있다. 또한 막은 40℃이상에서 경화를 일으킬 수 있으므로 고온에서 운전하는 것은 바람직하지 않다.

###### 4.1.2 입자상 및 콜로이드상 물질의 제거

입자상 및 콜로이드상 물질은 막면에 손상을 주거나 막에 막힘 현상을 유발하게 된다. 이러한 입자상 물질의 제거는 주로 응집과 여과를 통해서 수행된다. 0.3~0.5 μm정도의 현탁입자 및 colloid가 막에 가장 치명적인 손상을 미치게 되는데, 이의 처리는 다가의 전해질을 사용하여 응집시킨 후 응집된 입자는 정밀여과(micro-filtration)로 분리한다. 통상 사용되는 다가의 전해질은 경제적인 면을 고려하여 FeClSO<sub>4</sub> 등과 같은 Al 및 Fe 이온을 포함하는 전해질이 자주 사용된다. 현탁입자보다 큰 입자의 경우에는 모래여과법이나 미세여과법(microstrainer filtration)을 통해 입자상 물질을 제거한다. 그러나 두 경우 모두 주기적인 역세척을 필요로 한다[11].

역삼투막 공정에서 물리적인 전처리 방법의 효율은 SDI를 이용하는데 대부분의 막이 요구하는 SDI 값은 3이하이다[12].

4.2 화학적 전처리

4.2.1 pH 조정

표 2에서 살펴본 바와 같이 막의 재질에 따라 허용 pH가 존재한다. 초산 셀룰로스 막의 경우 가수분해에 의해 탈염성능이 저하하는데 일반적으로 pH 7 이상되면 그 속도가 증가하고 pH 4.7 정도에서 가수분해속도가 최소가 된다. 그러나 pH가 너무 낮으면 부식이 발생하므로 실제에서는 pH를 4.5~6 정도로 조절한다. 따라서 일반적인 해수의 pH는 8.1~8.5 정도 이므로 황산이나 염산을 첨가하여 약산성인 pH 4.5~6 정도로 조정하여야 한다. 막의 분리성능 및 경제성의 면에서 황산이 좋지만 침전물을 형성하는 경우는 염산이 쓰인다. 드물지만 염기를 첨가하여야 하는 경우는 가정 소다가 쓰인다.

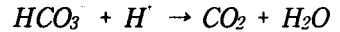
4.2.2 석출 방지 및 제거

해수의 회수율(Water Recovery)를 크게 하기 위해서는 해수내 침전 가능한 물질의 농도를 제어할 필요가 있다. 해수의 회수율을 크게 하면 막면을 중심으로 투과수의 무기물 농도는 상대적으로 낮아지고 농축수의 무기물 농도는 높아지게 된다. 회수율이 30%라고 가정하면 농축수에서의 이온농축은 약 1.5배정도 발생한다. 따라서 이온 곱에 의해 실제의 침전 발생 농도는 약 2.3배로 증가하게 되어 농축수가 유출되는 경로에 Ca 및 Mg 이온등에 의해 CaCO<sub>3</sub>, MgCO<sub>3</sub>, CaSO<sub>4</sub>, MgSO<sub>4</sub> 등의 무기물 석출이 일어나게 된다. 막면에 석출에 의한 물질이 퇴적하는 경우 주위 여건에 따라 퇴적물의 두께가 변하게 되는데 이에 대해서는 단순화된 모델로 수식화 되어있다[5].

$$\frac{dR_f}{dt} = \Phi_d - \Phi_r$$

$dR_f/dt$  = 석출에 의한 막면 저항  
 $\Phi_d, \Phi_r$  : 석출물질의 막면 퇴적율, 제거율

막면에서의 무기물의 석출현상을 제어하는 것은 석출 물질의 성질에 따라 방법이 달라진다. 예를 들어 가장 일반적인 석출물질인 칼슘염과 마그네슘염과 같은 알칼리석출 제어를 위해서는 미리 산을 주입해주어 석출의 주요 원인물질인 탄산이온을 제거해준다.



화학적인 석출은 석출을 방해하는 물질(inhibitor)을 주입하는 방법으로도 제어가 가능한데 대체로 방해물질로는 다중 인산염이 이용된다. 그러나 이러한 스케일 방지제들은 미생물의 영양분이 되어 부차적으로 생물학적 눈막힘현상(biofouling)을 일으키기 때문에 최근 외국에서는 석출과 눈막힘현상을 제어하기 위한 새로운 방법에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그중 황산이나 다중인산염을 주입하는 대신 낮은 분자량을 가진 음이온물질, 즉 카르복실기(-COOH-)를 가진 폴리머를 주입하여 운영한 결과 황산주입을 중지시킨 경우에도 투과수의 유량과 질의 감소가 거의 없고 운영비용도 황산이나 다중인산염을 사용한 경우보다 50%에 불과하였다는 보고가 있다[13].

이외에도 전처리 공정가운데 연수화 단계를 넣어주는 것도 스케일제어에 유리하다. 또한 스케일이 가장 적게 생기는 유속은 1.5~1.8m/s이므로 이 구간에서 시스템을 가동하는 것이 바람직하다.

4.2.3 산소 및 산화제의 제거

많은 경우에 있어서 역삼투 공정은 공기와 접촉이 일어나지 않은 상태에서 공정이 진행된다. 그 이유는 산소에 의해 막의 노화가 발생하거나 해수가 공기에 노출되는 경우 해수에 포함된 황화수소, 2가의 철이온과 같은 물질이 산화되어 침전이 일어나 막의 막힘현상을 일으킬 수 있기 때문이다. 산소의 전처리는 주로 SBS(Sodium Bisulfate)와 같은 산소제거제가 사용되지만 막면에 혐기성 황산환원균의 기질로 사용될 가능성이 있어 이로

인해 막이 손상될 수 있다. 화학적 탈산소가 힘든 경우는 친공탈기법이 사용되지만 경제적측면에서 바람직하지 않다.

미생물이나 유기물의 제거를 위해 투여한 후 남아있는 잔존 염소는 PA 계열의 막과 반응하여 막을 경화, 변성시켜 막의 수명 감소에 치명적인 영향을 미치게 되어 반드시 제거하여야 한다. 염소의 제거는 산소의 제거와 마찬가지로 SBS 및 활성탄이 주로 사용된다.

#### 4.2.4 현탁물질의 제거

현탁성 유기물과 철, 실리카, 용존염 등을 포함한 해수의 전처리는 일반적인 응집/응결법외에 연수화와  $Mg(OH)_2$ 를 이용한 흡착법등이 있다[14]. 철염과 알루미늄염, 유기응집제에 의한 응집은 막의 보호를 위한 선결조건을 만족시키지 못하기 때문에  $Mg(OH)_2$ ,  $MgO$ ,  $MgCl_2$ ,  $MgSO_4$  등을 이용한 흡착 과정이 필요하게 된다. 흡착성을 가진  $Mg(OH)_2$ 나  $MgO$ 가  $MgCl_2$ ,  $MgSO_4$ 등과 함께 사용될 때 최대의 현탁물질 제거를 보이게 된다. 각각의 용도를 보면  $Mg(OH)_2$ 는 연수화 과정에서  $CaCO_3$ 와 함께 침전하면서 휴민산, 리그닌산 등을 제거하며  $MgCl_2$ 는 실리카 성분감소에 효과가 있다.

연수화후와 응집단계후의 해수를 비교해보면 연수화 단계를 거친 해수가 휴민산, 실리카, 철염, 경도등이 모든면에서 크게 감소되고 일반연수화후와  $Mg(OH)_2$ 를 이용한 흡착을 함께 실시한 연수화후의 해수를 비교하면 현탁물질의 감소량이 더욱 커진다. 이러한 현탁물질 제거기능을 가진  $Mg(OH)_2$ 의 제조를 위해서는  $Ca(OH)_2$ 와  $Mg(Cl)_2$ 를 함께 주입하여야 한다.

연수화와 흡착과정에서  $CaCO_3:Mg(OH)_2$ 가 3:2의 비율로 존재할 때 최대 콜로이드 제거율을 보였다. 특히  $Mg(OH)_2$  입자가 0.03~0.04mm 정도 일 때 해수 속의 현탁물질이 급격히 감소했는데 이는  $Mg(OH)_2$ 가 (-)전하를 지닌 콜로이드와 함께 좋은 침전성을 가진 탄산칼슘과 덩어리를 이루어 침전하기 때문이다.

#### 4.3 생물학적 전처리

막면에서 발생하는 눈막힘 현상중 가장 문제가 되는 것은 유기물에 의한 생물학적 눈막힘 현상(biofouling)이라 할 수 있다. 생물학적 눈막힘현상은 화학적 눈막힘현상과는 달리 역세척에 의해 제거되지 않는 경우가 대부분이다. 생물학적 눈막힘 현상은 막 표면뿐만 아니라 시스템 파이프의 유속이 낮은 사공간(死空間)이나 구부러진 곳에서 발생한다. 막면에서의 생물학적 눈막힘현상은 농도분극현상에 의해 농축된 원수에 의해 발생된다. 농도분극현상이 지속되면 투과수의 염농도가 증가하고 막면 삼투압이 증가하여 유효압력은 작아지게 된다. 그러면 막면에서 유동이 감소하게 되고 결국 막면에 박테리아가 부착, 성장하여 생물학적 눈막힘현상의 초기화가 이뤄지게 된다. 초기화가 이뤄진 후로는 박테리아군집(群集)이 급격하게 성장하여 막면전체가 박테리아로 덮히게 된다. 계속적인 박테리아의 성장으로 생물막이 부유 미생물을 끌어당기며 점착력을 갖게 되어 폴리머도 부착되는 가운데 주위 유체의 전단력으로 인해 생물막의 두께가 한계에 다다르게 된다. 생물막의 두께가 한계에 다다른 후에는 밀도가 낮은 필름의 바깥쪽이 시간이 지남에 따라 안쪽 필름을 압축하여 전체적으로 막은 더 불투수성을 띠게 된다. 이러한 과정을 통해 막표면에 생물막이 형성되면 유량과 염제거율에 영향을 주어 아주 낮은 해수처리율을 보이며 처리수의 성분도 높은 염분을 포함한 것이 된다. 특히 생물학적 눈막힘현상으로 인한 압력 강하는 막의 회복불가능한 기계적 손실을 야기시킨다.

생물학적 눈막힘 현상의 조절은 생물학적 눈막힘현상의 원인자체가 박테리아와 조류이기 때문에 대체로 소독방법과 유사하다. 본질적으로 박테리아의 증식을 막기 위해서는 잔류 염소상태를 지속시키는 것이 바람직하지만 앞에서 보았듯이 막이 염소에 민감하므로 탈염화지점에서의 활성탄법 적용이나  $NaHSO_3$ 의 과다주입이 요구된다.

유입수에 유기물질이 많을 경우에는 염소가 트리 할로메탄(THMs)을 형성하여 처리수속에 발암물질이 포함되게 되므로 대체 소독제가 요구된다. 염소의 대체 소독제로 제안되고 있는 것은  $\text{ClO}_2$  와 오존, UV, 클로로아민,  $\text{CuSO}_4$ 가 있는데 이중  $\text{ClO}_2$ 는  $\text{Cl}_2$ 나  $\text{HOCl}$ 이  $\text{NaCl}$ 과 반응하여 생성된 것으로 염소에 비해 막에 미치는 영향이 적은 잇점이 있어 일정농도이하(약1ppm)만 유지된다면 탈염화과정이 없어도 된다. 오존이나 UV는 다른 소독제에 비해 고가이고 최적주입이 어려우며 잔류하는 양이 너무 적기때문에 완전자동화된 작은 플랜트에서만 제한적으로 사용된다. 그리고 클로로아민 제조 공정은 조절하기에 아직 어려운 점이 많아 그리 많이 이용되지 않으며  $\text{CuSO}_4$ 는 염소주입을 피하기 위해 홍해근해의 대규모 플랜트에서 사용되고 있는데 조류에 대해서는 효과가

좋으나 박테리아에는 거의 효과가 없고 과다주입 시 환경적으로 구리중독의 역효과를 일으킬수도 있어 많은 나라에서  $\text{CuSO}_4$ 의 사용에 대해 제한을 두고 있다. 이러한 대체 소독제 이외에도 플랜트의 운영공정상 사용되는 소독제로는  $\text{I}_2$ , 과산화수소수, 아세트산등이 있다. 이러한 모든 소독제의 최적사용을 위해서는 시험 운영이 요구되며 해수의 온도나 pH등의 특성도 잘 고려되어야 한다.

#### 4.4 전처리공정의 최적화

전처리 공정은 위에서 살펴본 바와 같이 크게 물리, 화학, 생물학적인 세가지 범주로 구분할 수 있는데 이들 세 전처리 방법은 서로 상보적인 관계가 있다. 즉, 그림 3과 같이 화학적인 전처리에 치중하여 다중 인산염을 과량 투입하거나 pH를

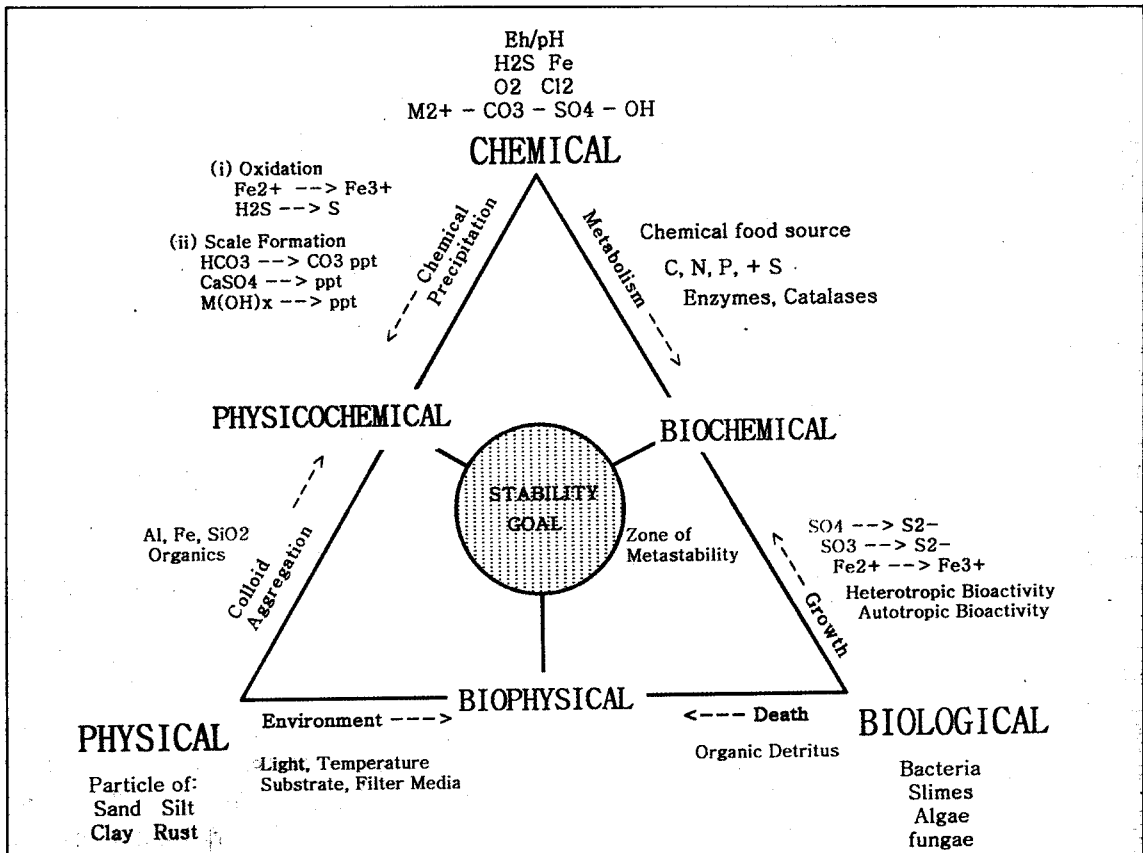


그림 3. 최적 전처리를 위한 물리, 화학, 생물학적 전처리과정의 조합[10]



조정하여 석출발생을 제어하면 각각 물리적인 입자의 발생과 미생물의 성장같은 문제가 발생한다. 반면 생물학적인 눈막힘현상 제어를 위해 염소나 다른 소독제를 과량 투입하게 되면 다음의 과정에서 산화반응이 진행되어 침전이 일어나거나 막이 손상을 입게된다. 따라서 효율적인 전처리를 위해서는 어느 한 범주의 전처리에 치중하지 않고, 그림에서와 같이 세가지가 절충된 상태인 Stability Goal 근방에서 운전하는 것이 바람직하다

## 5. 결론

해수의 담수화는 국내의 물 수요상 반드시 필요한 기술이며, 전처리 공정은 이에 있어 전체 공정의 효율을 결정하는 가장 중요한 단계이다. 전처리 공정은 원수의 특성을 파악하여 공정에 맞게 원수의 특성을 바꾸어 주는 것이라고도 할 수 있는데, 설계한 공정에 맞도록 원수의 특성을 바꾸는 것은 일반적인 방법에 의해서 어느정도 가능하기는 하지만 최적의 결과를 얻기 위해서는 실험실 및 pilot 규모의 선행 실험이 수행되어야 한다. 이를 바탕으로 원수의 특성에 따라 적절한 화학약품 주입량과 침전시간, 반응시간을 결정하여야 한다.

실험실이나 Pilot 규모에서 운전된 결과는 실제 전처리 공정을 설계하는 운전인자의 도출에 목적이 있는데 이는 전체 시스템의 성능향상과 밀접한 관계가 있다. 그러나 국내의 경우 공정에 대한 기술 축적은 선진국 수준이라고 할 수 있으나 각 공정의 효율 향상과 공정의 조합에 대한 부분은 거의 연구가 이루어 지지않아 시스템의 구성과 운전은 외국의 기술을 그대로 도입하고 있다. 따라서 향후 담수화 공정에 대한 연구방향은 국내 해수의 특성을 고려하여 적절한 전처리 공정을 구성하는 것이며, 이를 바탕으로 전체 공정에 대한 최적화기법을 적용하여 국내 현실에 맞는 담수화 공정을 개발하는 것이다.

3차 세계대전은 물의 전쟁이 될 것이라는 어느

과학자의 보고를 빌리지 않더라도 국내의 물 부족 현상은 이미 심각한 상태에 이르렀다. 정부에서도 종합적인 수자원 관리와 새로운 수자원 개발에 관심을 기울이고 있으며, 기업에서도 부족한 공업용수를 확보하기위해 자체적으로 수원확보에 투자하고 있는 실정에서 국내 해수의 특성에 맞는 해수의 담수화기술개발은 가장 매력적인 대안 중의 하나임에 틀림없다.

## 참 고 문 헌

1. 지구환경보고서(1993), Worldwatch Institute, 도서출판 따님, pp. 47-78, 1994
2. 물대책 청사진, 조선일보 8월 12일자 사회면, 1996
3. Andrew Porteous, "Desalination Technology", Applied Science Publishers, pp.205-248, 1983
4. N.M. Wade, "RO Design Optimization", Desalination, Vol. 64, pp. 3-16, 1987
5. K.S. Spiegler, D.K. Laird, "Principles of Desalination", 2nd. ed., Academic Press, N.Y., 1980
6. Dennis R. Kasper, "Pre- and Posttreatment Process for Membrane Water Treatment - Systems", Proceeding of Advanced - Membrane Technology Seminar, California, pp. 105-121, 1990
7. 한국해역 종합 해양환경도 작성연구, 한국과학기술원 부설 해양연구소, 과학기술처, 1983
8. 국내 해수담수화 기술의 타당성 조사, 한국수자원 연구소, 1995
9. IBID, "Materials", pp. 205-297, 1981
10. N.R.G Walton, "RO Pretreatment-Injecting a Little Chemical Control and Management ", Desalination, Vol 82, pp. 281-301, 1991
11. S. Kawana, T. Yoshioka, H. Harashina, T. - Mikuni, "Sea-water Pretreatment by - Continuous Sand Filter for Seawater RO Desalination Plant", Desalination, Vol. 66,

- pp. 339-351, 1987
12. A.Y. AL-BORNO, M. ABDEL-JAWAD, "Conventional Pretreatment of Surface Seawater for Reverse Osmosis Application : State of Art", Desalination, Vol 74, pp. 3-36, 1989
  13. A.E. JAFFER, "The Application of a Novel Chemical Treatment Program to Mitigate - Scaling and Fouling in Reverse Osmosis Units", Desalination, Vol. 96, pp. 71-79, 1994
  14. V. MAVROV, I. DOBREVSKY, B. BONEV, N. PETKOV, "Effect of Magnesium Hydroxide Formed under Alkaline Conditions on Brackish - Water Pretreatment for Reverse Osmosis", Desalination, Vol. 85, pp. 335-344, 1992