

선박용 역삼투식 조수장치에 대하여

(주) 경 창
대표이사 박 중 규

1. 머리말

근래 막분리 장치는 많은 발전을 이루어 왔으며 그 중에서도 특히 역삼투(REVERSE OSMOSIS) 현상을 이용한 박막분리 장치는 농축과 분리 공정의 대표적인 기술로 인정 받게 되었다.

역삼투식 박막 분리 장치가 실험실의 연구 대상에서 벗어나 본격적인 상업 제품으로 개발되기 시작한 것은 15 ~ 20년전의 일이나 최근에 이르러서는 그 처리와 응용기술의 발달로 초순수 제조, 유제품과 과즙의 농축 및 분리, 도금용 귀금속 및 전착 도료의 회수, 기체 분리 그리고 해수의 담수화 등에 걸쳐 이용 범위가 급격히 확산되고 있다.

이 글에서는 그 중에서도 특히 역삼투식 조수 장치에 대해 설명한다.

2. 역삼투의 원리

그림1과 같이 서로 용해할 수 있는 농도가 다른 두 가지 용액을 반투막으로 격리하면 자연 상태에서 삼투현상이 발생하며 농도가 높은 쪽으로 삼투되어 이동한다.

이러한 이동 현상은 저농도측의 용매가

모두 투과하거나 혹은 고농도측 수두압이 일정한 점에 이르면 정지하게 된다. 후자의 경우에 삼투현상이 정지하였을 때의 수두압을 삼투압이라고 하며 이것은 용액의 농도에 따라 변화한다.

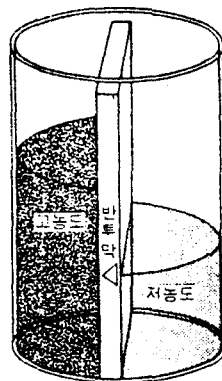


그림1 삼투현상

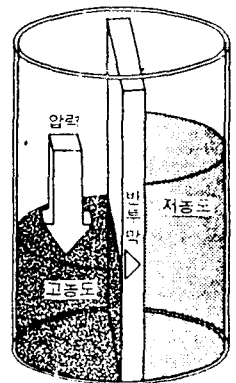


그림 2 역삼투현상

역삼투 현상은 그림2와 같이 고등노측에 삼투압 이상의 압력을 가함으로써 인위적으로 발생시킬 수 있으며 이는 삼투현상의 역현상이다. 이하에서는 고·저농도 용액을 각각 해수와 담수로 부르기로 한다.

그림3은 SOURIRAJAN이 제시한 역삼투 현상을 통한 순수의 흡착과 흐름을 나타낸다. 이를 선택 흡착-세공류 메카니즘(PREFERENTIAL SORPTION-CAPILLARY FLOW MECHANISM)이라 하며 역삼투 현상을 설명하는 일반적인 정설로 알려졌다. 그림3에서 수용액은 막의 미세공과 접하고 있다. 막의 화학적 특성이 수용액 중의 용질에 부의 영향을 미치면 용매를 선택적으로 흡착하게 되며 막표면에서의 용액의 농도는 막에 가까울 수록 낮아진다. 결과적으로 막-

- ii) 해수의 특정한 농도에서 필요한 삼투압
- iii) 담수를 반투막 외부로 삼투시키기 위한 투과압

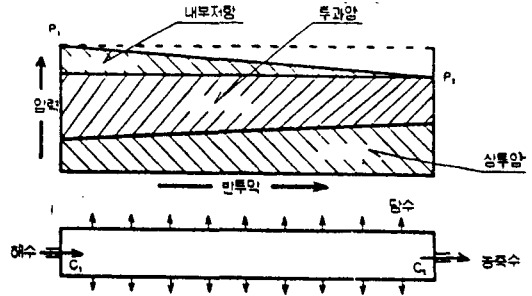


그림 3-2 반투막 내부압력변화

이론상으로는 반투막이 순수만을 투과시킬 수 있으나 실제로는 소량의 염분이 동반하여 삼투한다. 염분의 투과량은 반투막 양쪽의 염분 농도 차이에 비례한다. 즉 농도가 높은 해수를 공급하거나 해수를 과도히 농축하였을 경우 염분의 투과량이 많아지는 것이다. 실제 조수장치에서 성능을 판단하는 가장 중요한 기준은 담수의 수질과 생산량이며 이 두가지 기준을 좌우하는 가장 큰 요소는 압력이다. 따라서 조수장치의 설계자는 지금까지 얘기한 사항을 참고하여 충분한 투과압력을 발생시킬 수 있는 펌프와 구동기를 갖추어야 한다.

담수와 염분의 투과에 대해 일반적으로 널리 사용되는 공식은 다음과 같다.

$$\text{담수 투과량 (gfc}^2\text{m}^2 \cdot \text{s)} = A(D_p - D_{op}) \dots (1)$$

- A : 반투막 정수 (gfc²m²·s·atm)
- D_p : 반투막 양측의 압력차이 (atm)
- D_{op} : 반투막 양측의 삼투압 차이 (atm)

$$\text{염분 투과량 (gfc}^2\text{m}^2 \cdot \text{s)} = B \times D_c \dots (2)$$

- B : 염분 투과 정수 (cm/s)
- D_c : 반투막 양측의 농도차이 (gfc²m²)

식(1)은 투과압에 비례하여 담수 투과량이 변하여 식(2)는 염분의 투과량은 압력과 관계없이 반투막 양측의 농도 차이에 따

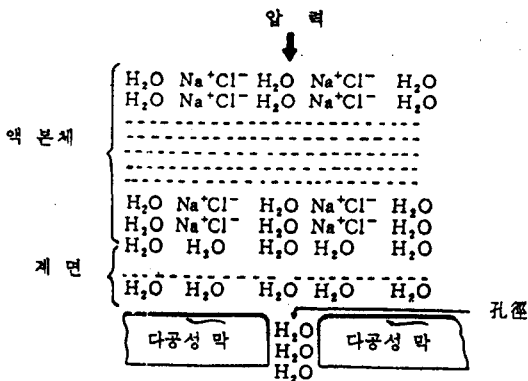


그림 3-1 선택흡착-細孔流 메카니즘의 概略圖

용액의 계면에서는 순수층이 발생하며 압력을 이용하여 막의 미세공을 통해 순수층을 압입하면 수용액(해수)으로부터 순수(담수)를 얻을 수 있다.

역삼투 현상을 발생시키기 위해 반투막 내부로 해수를 압입했을 경우 그 압력은 그림3에서 볼수 있는 바와 같이 세가지 요소에 의해 결정된다.

- i) 반투막 내부에서의 와류 등으로 인한 저항손실

라 변한다는 사실을 보여준다. 상기 공식들은 일정한 온도를 기준으로 하였음에 주의하기 바란다. 이는 (1), (2)식 모두에서 온도의 영향은 반투막의 재질에 따라 변화하기 때문이다. 실제 역삼투식 조수 장치의 온도와 담수 생산량의 상관관계를 그림4에서 볼 수 있다. 담수의 생산량은 온도의 변화에 따라 큰 폭으로 증감한다는 사실을 그림을 통해 알 수 있으며 일반적으로 온도가 1°C 변화하면 생산량은 3% 증감한다고 알려져 있다.

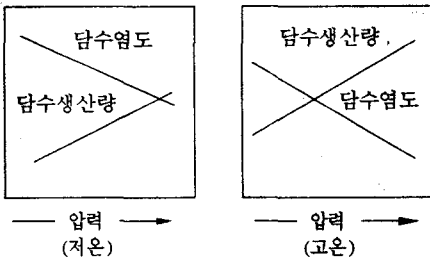


그림4 온도와 담수량 / 질의 관계

그 밖에 역삼투식 조수 장치의 성능을 결정짓는 중요한 기준은 염분 추출율과 회수율이며 이들은 각각 다음과 같이 산출된다.

$$\text{염분추출물}(\%) = (1 - S_p / S_r) \times 100 \dots (3)$$

S_p : 담수에 함유된 염도 (ppm, TDS)
 S_r : 해수에 함유된 염도 (ppm, TDS)

$$\text{회수율}(\%) = Q_p / Q_r \times 100 \dots (4)$$

Q_p : 담수 생산량 (LPM)
 Q_r : 해수 공급량 (LPM)

3. 반투막

가. 제작과 구조

반투막은 합수 초산셀룰로오즈 (cellulose acetate)를 이용한 Loeb-Sourirajan형막이 UCLA에서 개발된 1960년을 기점으로 매우 빠른 속도로 발전하였다. 그 소재로는 많은 종류의 고분자 화합물이 검토되고 있으나 실용 상품화된 것은 초산셀룰로오즈와 방향성 폴리아미드 (aromatic polyamid) 등이 있다. 이

중 초산셀룰로오즈형 막의 제조 방법과 특성에 대해 설명한다.

제조방법은 포화과염소산 마그네슘 ($Mg(ClO_4)_2$)과 39.8% 정도로 아세틸화 (acetylation)한 초산셀룰로오즈의 용액에 아세톤 (acetone)을 투입하여 이를 물에 용해한 후 기판에 얇게 입힌다. 다시 수 분간 아세톤을 휘발시킨 후 침수시켜 겔 (gel)상태로 고정시켜 막을 만든다. 이 단계에서의 반투막은 공극이 심하며 다시 적절한 온도의 물에서 처리해야만 실용 가능한 반투막이 완성된다. 막의 특성을 결정짓는 제조 과정에서의 여러

표1. 표준용액 조성비

성분	비율(중량)
초산셀룰로오즈 (cellulose acetate)	22.2%
아세톤 (acetone)	66.7%
물	10.0%
마그네슘 (Magnesium perchlorate) ($Mg(ClO_4)_2$)	1.1%

가지 요소 즉, 포화과염소산, 마그네슘과 초산셀룰로오즈의 비율, 피막할 때의 온도, 피막하여 침수시까지의 시간, 침수시의 수온, 막고정시의 온도 등에 대해서는 계속적인 연구가 이루어지고 있다. 현재까지 밝혀진 바로 가장 적절한 용액 조성 비율은 표1과 같으며 피막 도포시의 온도와 시간이 반투막의 성능에 미치는 영향은 그림5와 같다.

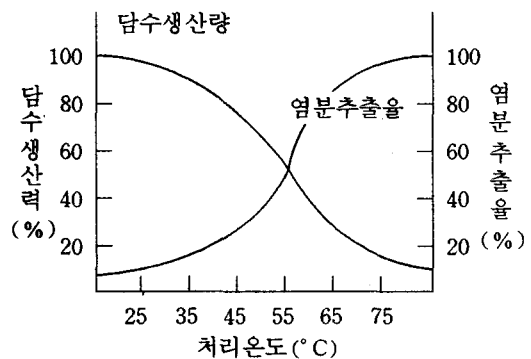


그림 5. 처리온도가 막특성에 미치는 영향

이와 같은 과정을 거쳐 형성된 막은 100 μm 정도의 두께를 가지면 표면층과 이를 받쳐주는 하부구조로 이루어진다.

표면층은 치밀하며 두께는 약 0.2 ~ 1 μm 정도이다. 그 표면에는 최대 100 \AA 의 세공이 있어 이를 통해 염분의 추출이 이루어진다.

하부 구조는 공극을 약 55%정도의 거친 구조로서 수천 \AA 의 구멍이 있다.

나. 종류와 특징

현재까지 개발되어 상업적으로 이용 가능한 반투막은 그 구조에 따라 다음과 같이 나눌 수 있다.

- 1) 관형 (Tubular type)
- 2) 중공섬유형 (Hollow Fiber type)
- 3) 와원형 (Spiral Wound type)
- 4) 판형 (Disc Flat type)

이들은 각각의 구조뿐만 아니라 그 쓰임새에서도 특징과 장단점을 갖고 있으며 이에 대해 살펴보면 다음과 같다.

1) 관 형

이 형은 주로 산화 지르코늄(Zr)과 폴리아크릴 화합물로 제작되며 0.5 μm 정도의 세

공을 가진 내관을 스테인레스 강관에 삽입하여 내관의 내역에 반투막을 도포하여 제작한다. 외관에는 1.5mm 내외의 구멍이 뚫려있다. 이 형의 반투막도포 방법으로 초기에는 동력낙하법이 이용되었으나 최근에는 회전식 방법이 이용되고 있다. 해수는 관의 한 쪽 입구를 통해 관의 내부에 압입되며 반투막과 내관 및 외관에 뚫린 구멍을 통해 담수가 투과하고 염수는 해수입구의 반대측 출구를 통해 배출된다.

이 형의 장점은 그 구조의 특징상 내구성이 높다는 점이다. 즉 85kgf/cm²의 압력과 100°C의 온도에서도 작동할 수 있다. 그러나 단위 체적당 면적이 다른 형에 비해 좁으며 따라서 고가인 점이 단점으로 지적된다. 이 형은 특정한 사용처에서는 무척 우수한 효과를 보고 있으며 과즙과 우유의 농축 등이 그 예라 할 수 있다.

대표적인 제조자로는 Carre(미국)사가 있다.

2) 중공 섬유형

방향성 폴리아미드(polyamid)나 아세틸 셀룰로오스를 주로 사용하는 이 형은 내경 약 42 μm , 외경 80 ~ 100 μm , 정도의 미세관으로 제작된다. 수천개의 이 작은 관이 U자

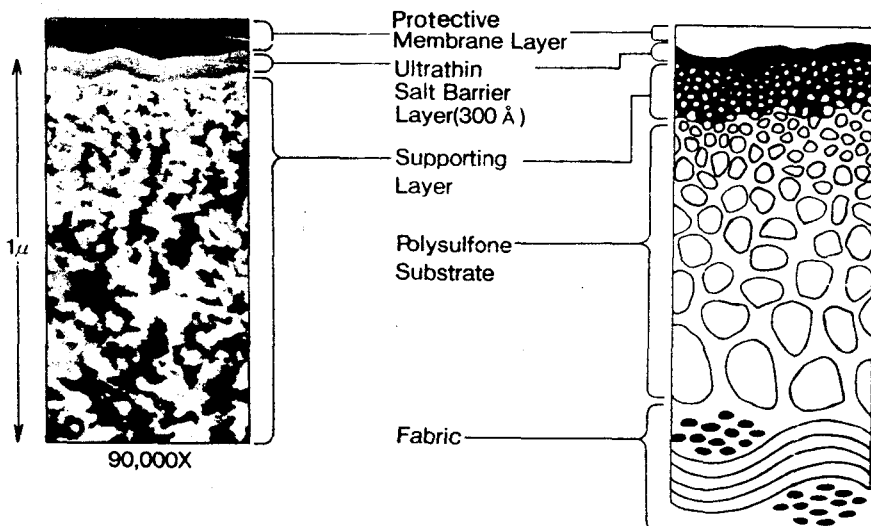


그림 6. 반투막 미세구조

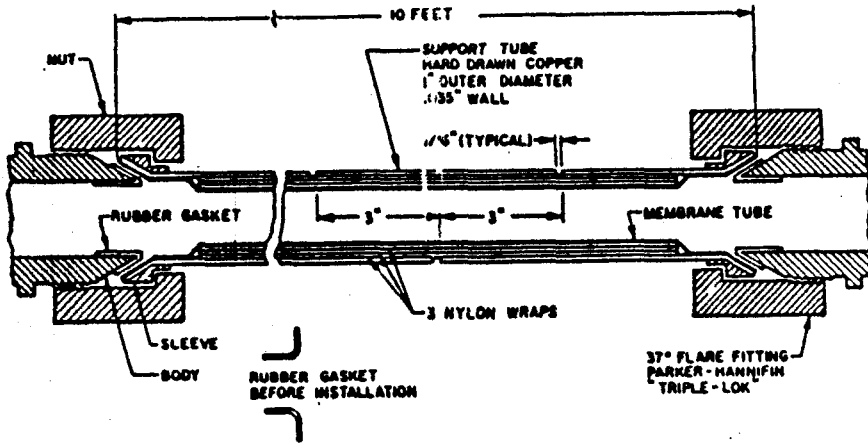


그림 7 관형 반투막의 구조

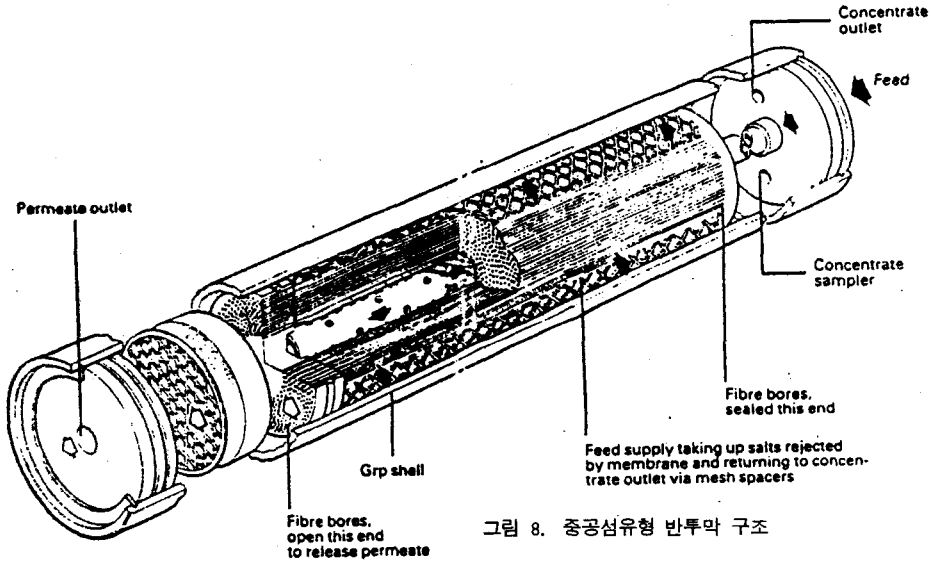


그림 8 중공섬유형 반투막 구조

형 다발을 이루며 한 쪽은 밀폐되고 다른 한 쪽은 개방된 상태로 압력용기에 설치된다. 이 압력용기는 주로 유리섬유 강화 플라스틱 (FRP) 재료를 감아서 (Filament Winding) 이용하거나 알루미늄관 혹은 스테인레스강관을 이용한다. 해수는 압력용기 중심에 설치된 해수 공급관을 통해 압입되며 중공미세관을 통과한 담수는 미세관 내부를 따라 흘러 해수 입구측과 반대의 방향으로 나가고 염수는 해수 입구와 같은 쪽에 별도로 설치된 출구를 통해 배출된다.

이 형의 장점은 면적/체적비가 매우 높아 단위 체적당 생산량이 많다는 점이다. 그리

나 워낙 미세한 관을 이용하고 있으므로 급수의 성분에 많은 영향을 받는다. 따라서 급수의 전처리에 세심한 주의를 기울여야 하며 이로 인해 장비가 복잡해지고 가격이 비싼 것이 이 형의 단점으로 나타난다. 또한 단위 면적당 담수 생산량이 와권형에 비해 낮으며 실험결과에 따라 와권형에 비해 1/10로 관측되는 수도 있다.

대표적인 제조회사로는 Du Pont(미국)사가 있다.

3) 와권형

해수의 담수화를 위해 가장 많이 이용하고 있는 이 형은 염도 5,000까지의 경우에는

초산셀룰로오즈를 그 이상의 염도에서는 폴리아미드나 폴리술폰네이트 재질을 많이 사용하고 있다. 구조를 살펴보면 담수가 통과할 수 있는 열개를 가진 해면층의 아래 위에 반투막이 놓이고 그 반투막 상하에 큰 눈금을 가진 그물 모양의 해수 유동층이 부착된다. 이 시루떡과 같은 형태의 3면을 밀폐하고 두루마리처럼 감아서 중심부에 담수관을 설치하여 집수한다. 이러한 두루마리를 압력 용기에 넣어 해수를 용기 내부로 압입하면 해수는 그물을 통해 반투막 전면적에 끌고루 퍼지고 일부는 막을 투과하여 담수화한다.

이 형의 장점은 내구력이 높으며 단위체 적당 생산량이 비교적 많고 정비유지가 용이하다는 점이다. 또한 까다로운 급수 전처리 설비를 필요로 하지 않는 점 등으로 인해 해

수의 담수화 특히 선박용으로 가장 많이 사용하고 있다.

대표적인 제조회사로는 FilmTec(미국)사 등이 있다.

4) 판 형

비교적 근래 개발된 형태로서 그 구조는 관형의 반투막과 이 반투막을 지지하고 담수를 집수할 수 있는 한쌍의 판을 100 ~ 200 쌍 쌓아올린 형태로 만들어진다. 이 형은 식품가공 공정 등 고형물질이 함유된 용액을 농축하는 사용처에서 종래의 관형의 결점을 보완하기 위해 개발되었다. 즉 관형과 비슷한 수준으로 충분히 개방된 해수통로를 확보할 수 있는 반면 면적/체적비는 관형에 비해 높일 수 있다. 따라서 고형물질로 인한 반투막의 손상과 성능저하를 막을 수 있을

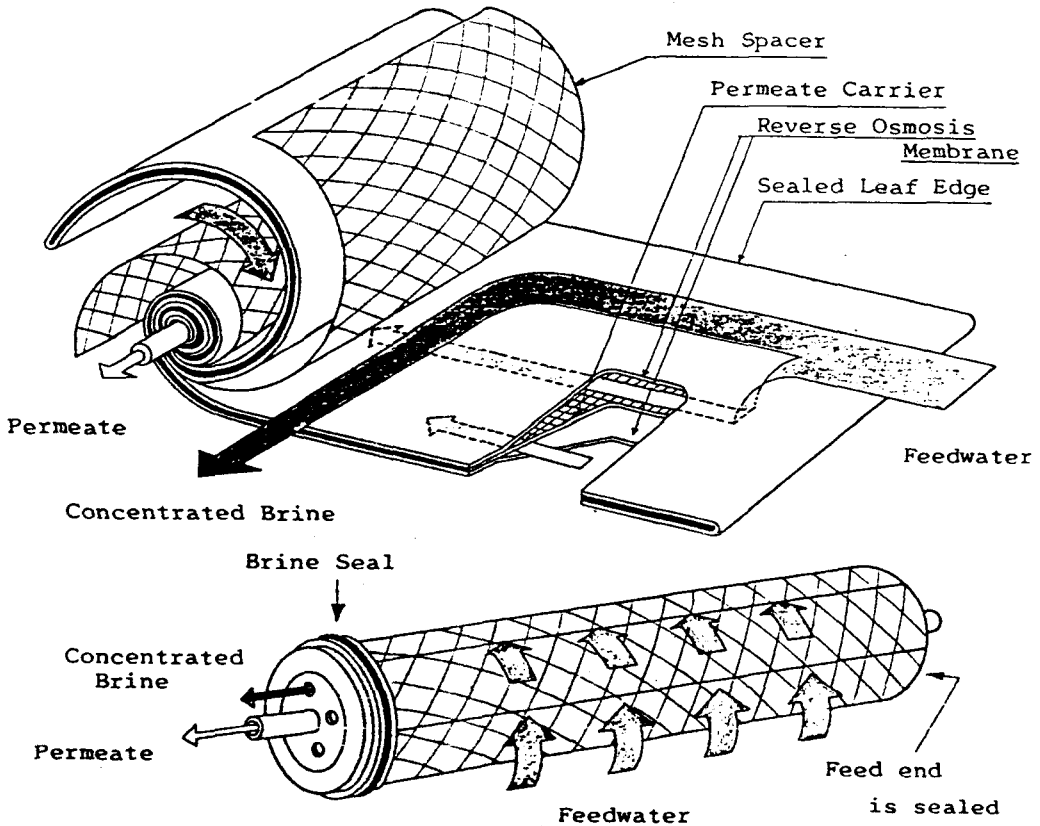


그림 9 渦捲型 반투막구조

뿐더러 반투막 손상시 손상된 부분만 교체가 가능하므로 경제적이다. 그러나 그 구조의 특성상 일부분의 반투막 손상시 인접 부분으로 손상이 확산되기 쉬우며 한 개의 판을 교체하기 위해서 경우에 따라 200여개의 특이한 셀(sel), 오-링(O-ring), 가스켓(gasket) 등이 필요하다. 또한 외권형에 비해 담수의 단위 생산력당 부피는 8배, 무게는 약6배에 이르는 점이 선박의 해수담수화 장비로는 부적합함을 부여준다.

4. 역삼투식 조수 장치

가. 역삼투식 조수장치의 설계

이 장치의 설계는 급수의 분석, 담수의 수질과 생산량 등 세 가지 요소로부터 출발한다.

장치의 성능은 주로 급수의 수질에 의한 영향을 가장 많이 받으며, 급수의 염도가 높아지면 비례하여 삼투압이 증가하고 또한 장치의 생산능력과 생산수질에 영향을 미친다. 따라서 이 장치의 설계자는 예산 가능한 광범위한 염도와 온도변화에 대비하여 설계를 해야 한다. 그러나 이러한 사항은 장비의 경제성에 직결되는 것임을 고려해야 한다. 예를 들면 저온에서도 일정한 생산량을 유지하기 위해서는 장비의 가격이 상승된다는 것이다. 그 밖에 고려해야 할 점은 염분추출율과 회수율이다. 염분추출율을 상승시키면 담수 생산력은 감소하게 되며 회수율이 높아질수록 반투막의 해수측 염도가 높아지고 이로 인해 반투막 표면에 염분의 침전현상이 가속화되고 결국 생산력은 떨어진다. 적절히 설계된 장치에서는 배출농축수의 흐름을 적정선으로 유지해 줌으로써 침전현상을 억제할 수 있다.

모든 종류의 반투막은 급수온도가 상승함에 따라 담수의 생산력이 증가한다는 점은 전술한 바와 같다. 그러나 급수온도를 어느 수준 이상으로 높이는 것은 피해야 하며 일반적으로 50°C를 그 상한선으로 생각한다. 고온의 급수를 피해야 하는 이유는 다음과

같다.

i) 반투막을 받쳐주는 해변층의 내열성이 취약하다. 이러한 점을 보완할수 있는 재료를 개발하는 작업은 반투막 제조회사들에 의해 활발히 추진중에 있으며 멀지 않은 장래에 새로운 제품의 출현을 기대할 수 있을 것이다.

ii) 과농축으로 인한 염분침전 현상의 가속화이다. 일정한 급수량에서 고온의 급수로 인해 생산량이 많아지면 결국 배출 염수가 과농축되고 따라서 침전현상이 가속화되어 반투막의 성능 저하와 수명이 단축됨을 전술한 바와 같다.

급수온도가 생산량에 큰 영향을 미친다는 사실은 특히 선박용 장치를 설계할 때에 주의해야 한다. 왜냐하면 선박은 어느 일정한 장소에 머물지 않고 항해할 때마다 심한 온도차이를 겪기 때문이다. 실제의 경우에 있어서는 이러한 문제점을 보완하기 위해 장치마다 생산가능 상한치를 명시하고 온도에 따라 생산량을 조절할 수 있도록 조절기를 부착하여 사용한다.

이제부터 역삼투식조수장치의 설계시 유의해야 할 개별 항목에 대해 살펴본다.

1) 반투막의 배열

역삼투식조수장치는 증발식과 달리 생산수질은 급수의 수질에 영향을 받는다. 급수수질의 변화에 불구하고 일정한 생산수질을 유지하기 위해서는 별도의 전처리 설비를 하지 않는 이상 생산수량의 감소와 침전의 가속화 등과 같이 전술한 여러가지 요소의 제약을 받게 된다. 이를 피하기 위해서는 반투막의 배열을 조정하거나 특수한 전처리 설비를 사용한다. 반투막의 배열에는 두 가지 방법이 있으며 단렬(그림10)과 복렬(그림11)로 구분할 수 있다.

단렬은 그림에서 보는 바와 같이 카트리리지식필터(cartridge filter)에서 고형물질을 제거한 해수를 고압펌프에 의해 반투막으로 압입하여 농축액은 배출하고 담수는 곧바로 청수 탱크로 이송하여 사용하는 방법이다.

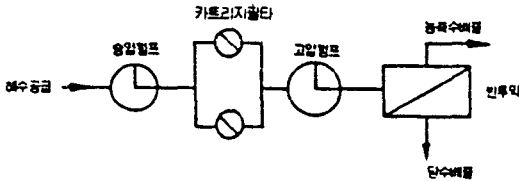


그림 10 단렬식 반투막 배치

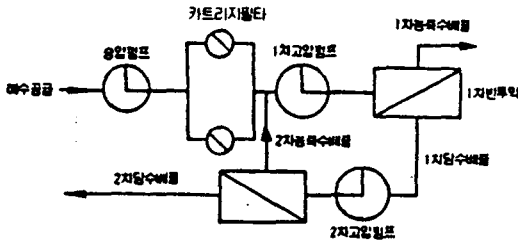


그림 11 복렬식 반투막 배치

일반적인 해수의 담수화 장치에서는 이 방법이 널리 쓰이고 있으며 장치의 제조 회사에 따라 소독기, 미디어필터(media filter)유수분리기(oil/water seperator) 등의 부속기기가 사용되고 있다.

복렬식의 전부는 단렬식과 동일하며 다만 생산된 담수를 바로 사용하는 것이 아니라 이를 다시 제2의 고압펌프를 통해 또 하나의 반투막에 투과시키는 것이다. 즉 고압 펌프와 반투막을 직렬로 추가하여 배치하는 것으로 요구되는 수질의 기준에 따라서 그 수를 늘릴 수 있다.

1차 처리과정에서 해수는 이미 식음수로써 적합한 수질로 처리되었으므로 2차 처리과정에서 생산된 담수는 보일러 급수 등에 사용할 수 있을만큼 순도가 높아진다. 또한 2차과정에서 발생한 염수역시 염도가 무척 낮으므로 이를 1차 고압펌프 흡입측으로 공급하여 재순환시킨다. 경우에 따라서는 1차측 담수의 일부는 식음수로 사용하고 나머지는 2차 처리과정을 거쳐 보일러 급수로 사용하기도 한다.

단렬식은 용적과 중량이 작고 가격이 싸며 운전이 용이한 점 등의 장점이 있다. 반면 복렬식은 고순도의 수질을 생산할 수 있고 어느 한쪽에 고장이 나더라도 다른 한쪽을 이용하여 식음수는 계속하여 생산이 가능한 점 등이 있다.

표2는 두가지 배열방법의 간단한 비교표이다.

표2. 단렬식과 복렬식의 비교

항 목	단렬식	복렬식
급수 온도의 영향	많이 받음	적게 받음
급수 염분 농도의 영향	많이 받음	적게 받음
장치의 가격	1.00	1.75
장치의 부속기기 수량	1.00	1.50
최종 출구측 담수생산을 위한 전력소비 (kwh/m ³)	12	17
담수수질 (TDS, ppm)	450	50혹은이하
용 적	1.00	1.50
운전과 정비 경비	1.00	1.50

2) 전처리

역삼투식 조수장치를 설계하거나 구매하려는 모든 사람들은 전처리설비의 채택여부와 채택시 그 범위에 대한 결정에 많은 주의를 기울여야 한다. 전처리 설비를 추가함으로써 동일한 반투막을 사용하여 고순도의 담수를 많이 생산할 수 있으나 반면 장치가 복잡해지고 따라서 설치비와 운전경비가 높아지는 외에 자칫 화학약품에 의한 사고를 당할 수 있기 때문이다. 주요한 전처리 과정은 다음과 같다.

i) 침전방지

반투막의 성능을 저하시키는 침전의 가장 중요한 형태는 탄산칼슘(CaCO₃)이며 이의 제거를 위해서는 산주입법, 이온교환법 등이 있으며, 회수율을 일정치 이내로 유지하는 것도 하나의 방법이다. 그 외에 철이나 규소 기타 중금속에 의한 침전 또한 전처리 과정에서 억제될 수 있다. 각각의 침전물에 대한 가장 효과적인 방법은 반투막 제조회사에 따라 차이가 있다. 약품의 투입은 혼합 탱크를

사용하거나 정량주입펌프를 사용한다. 또한 침전물 제거를 위한 산 주입후 반투막을 보호하기 위해서 pH를 조절하여 급수를 중화시키며 부수적으로 가스 제거기(degasifier)가 필요하다. 이러한 화학약품에 의한 전처리를 생략하기 위해서는 반투막을 주기적으로 세척하는 방법이 있다. 이를 통해서 복잡한 화학적 전처리과정을 없앨 수 있으며 반투막을 보호할 수가 있다. 그러나 일산능력 20M/T이상의 장치에서는 가능하면 화학적 전처리 설비를 하는 것이 바람직하다.

ii) 살균

반투막은 모든 종류의 미생물을 추출할 수 있지만 그 자체는 미생물의 오염으로 인해 성능이 저하될 수 있다. 따라서 염소투입이나 자외선에 의한 방법 등을 통해 급수를 살균한다. 염소살균법은 확실한 효과를 얻을 수 있는 반면 화학적 잔유물을 남기고, 이 잔류물은 반드시 제거해야 하는 단점이 있으므로 근래에는 일반적으로 후자를 많이 이용한다.

iii) 고형물 제거

전술한 모든 전처리 과정은 각각의 경우에 따라 생략 혹은 추가될 수 있지만 어떠한 장치에 있어서도 급수중의 고형물은 제거해야 한다. 반투막에서 허용되는 고형물의 최대 크기는 중공섬유형에서는 $2\mu\text{m}$, 그 외의 형에서는 $20\mu\text{m}$ 내외로 알려져 있다.

주로 카트리리지식 필터가 사용되고 있으며, 미디어 필터(media filter)와 플랑크톤 필터(plankton grip) 등이 경우에 따라 추가된다. 기름의 혼입 가능성이 있는 해역에서 장치를 운전하려고 할 때에는 급수중의 기름을 흡착 제거할 수 있는 유수분리기가 필요하다

3) 후처리

이 과정에는 살균과 臭味의 산화가 포함된다.

살균방법은 전처리 과정에서 소개한 바와 같으며 취미와 순화를 위해서는 활성탄소 필터나 소다회를 사용한다.

4) 기계적 부속장치

선박용인 경우, 일반적으로 단렬의 반투막을 사용한다. 중요한 기계적 부속장치로는 먼저 승압펌프가 있다.

이는 주로 원심펌프가 사용되며 급수를 일차 가압하여 전처리 장비의 작동을 원활히 하고 고압 펌프의 확실한 작동을 보장해 준다. 이 펌프는 전처리 부분의 세척을 위해서도 사용이 된다. 승압펌프와 고압펌프 사이에는 급수의 유량과 압력을 적정의 범위로 유지하기 위한 조절기들이 추가된다. 고압펌프는 플란저 펌프나 다이어프램(diaphragm) 펌프 혹은 다단 원심펌프를 사용하고 있다. 펌프로부터 발생하는 맥동을 흡수할 수 있는 기구를 갖추면 플란저 펌프가 가장 적절한 것으로 알려져 있다. 부피가 작고 신뢰성이 가장 높기 때문이다. 반투막의 고압용기는 앞에 설명한 바와 같이 FRP나 알루미늄관 혹은 스테인레스강관이 사용된다. 삼투압 조절기는 스테인레스로 만든 밸브를 쓴다. 배관 재료는 스테인레스 파이프나 황동-니켈 합금관 혹은 합성수지관을 사용하며 합성수지관은 주로 폴리부틸렌(polybutylene)재질이 많이 사용된다.

5) 장비의 제어

제어의 형태와 종류 및 방법은 각 장비마다 상이하다고 볼 수 있으나 일반적으로는 다음과 같은 종류의 제어를 한다.

i) 저압정지

고압펌프와 반투막의 보호를 위해 급수량이 감소되었을 때 장치를 정지함.

ii) 고압정지

고압으로 인한 장비의 손상 방지를 위해 기준치 이상의 고압발생시 장치를 정지함.

iii) 부적격수 자동 배출

생산된 담수의 수질이 기준치보다 낮을 경우 이를 검출하여 밖으로 버림.

iv) 유량과 압력 조절

반투막과 고압펌프에서 요구하는 적정 수준으로 급수의 유량과 압력을 조절.

v) 세척제 주입 펌프의 제어

vi) 자동 시동/정지

vii) 복수 장비의 운전 전환

2대 이상의 장치를 설치하였을 경우 작동 중인 장치가 고장났거나 혹은 미리 정해진 시각에 예비장비를 자동으로 작동시킴.

이상이 선박용 역삼투식 조수 장치에서 이용되고 있는 일반적인 제어 형태이며, 경우에 따라서는 모든 운전 조건과 상태를 기록하는 등의 좀더 복잡한 형태의 제어방법이 있으나 제어방법이 복잡할 수록 신뢰성이 떨어질 수 있다는 점을 감안한다면 선박용에 있어서는 어느 정도까지 인위적으로 제어하는 방법이 바람직스럽다.

필요한 계기들로는 각 부위의 압력계와 공급수, 담수 및 농축 배출수의 유량계 등이 있다.

나. 역삼투식 조수 장치의 실제

지금까지 기술한 역삼투식 조수 장치의 실제적인 예((주) 경창제품)를 그림12와 13

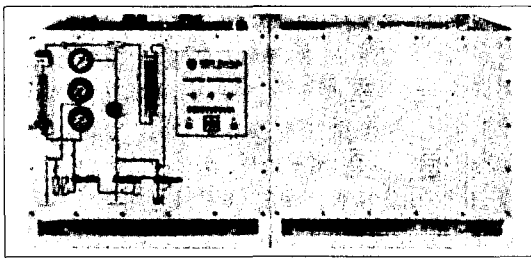


그림12 KRO-100-H의 외관

에 나타내었다.

이 장치는 선박용의 식음수 생산을 위해 제작된 것으로 1개 혹은 3개의 반투막을 직·병렬 혼합식으로 배치한 단렬식이다. 장치의 단가를 줄이기 위해 세척약품 자동주입장치를 생략한 대신에 주기적인 세척의 편의를 도모하기 위한 별도의 세척장치를 부착하였다. 전처리 장치로는 플랑크톤 필터, 메디아 필터, 정밀 필터, 유수 분리기를 사용하고 있으며 승압용 원심펌프를 채택하고 있다.

고압펌프로는 세라믹 플란저 펌프(ceramic plunger pump, triplex)를 사용하여 내구성과 운전효율의 향상을 도모하였으며 별도의 맥동 흡수기가 부착된다. 탄소 필터와 자외선 살균기가 후처리 부분의 중요한 구성품이며 담수 배관측의 배압을 제거하기 위한 청수 이송장비가 선택 사양으로 공급된다.

다. 운전과 정비

역삼투식 조수 장치의 운전과 정비를 위해 가장 중요한 사항은 각종 운전 기록을 작성하여 유지하는 것이다. 이를 통해 각 구성품은 물론 전체 장치의 운전상태를 확인할 수 있고 또한 심각한 손상을 사전에 예방할 수 있기 때문이다. 조수장치의 운전시 점검 및 정비 내역은 각각의 장치와 운전 조건에 따라 달라지므로 여기에서는 언급하지 않는다. 또한 모든 구성품은 일반적인 기계 장비

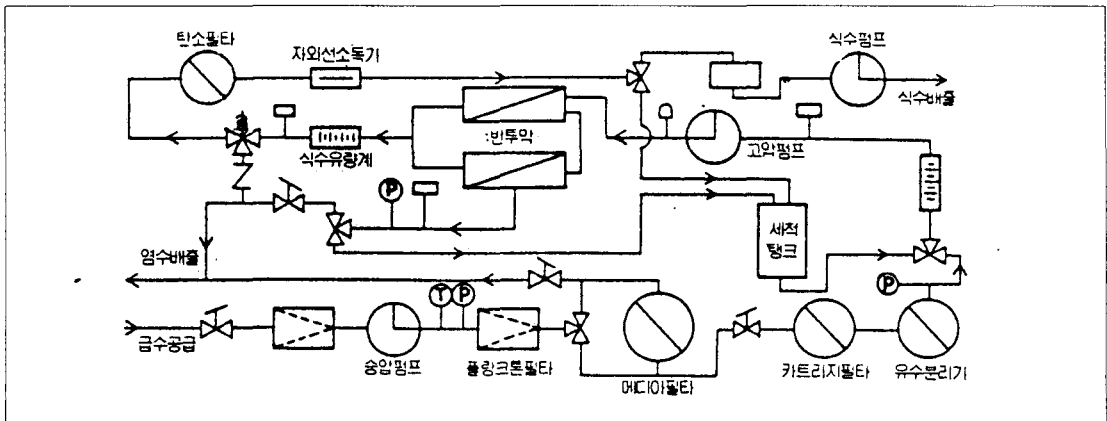


그림13 KRO-100-H의 회로구성

에 대한 상식의 범위내에서 운전과 정비가 가능하기 때문이다. 다만 강조해야 할 사항은 반투막에 대한 세심한 관찰을 통해 이를 주기적으로 세척해야 한다는 점이다. 이를 관찰하는 방법은 역시 운전 기록을 작성 유지하는 것이 가장 좋다. 일반적으로 담수 생산량과 염도가 10%이상 감소하거나 나빠지면 반투막을 세척해야 한다고 알려져 있다.

반투막의 수명은 반투막 형태와 운전 조건에 따라 차이가 있으나 조수 장치의 제조 회사에서 지정하는 운전조건하에서 규정된 정비를 실시하면 반투막은 4년 ~ 7년간 사용할 수 있다.

5. 역삼투식과 기타 방식의 조수 장치 비교

1,2차에 걸친 유류파동의 결과로서 모든 장치의 평가 기준에 최우선하는 것은 동력 소모량이다. 재래식 조수장치에 대한 몇가지 취약점에도 불구하고 역삼투식 조수장치가 많은 사람들의 호기심을 끌고 있는 것은 동력 소모량이 현저히 작다는 점이다. 다각적이고 합리적인 비교 검토 결과 기존 방식에 비해 최고 90%까지의 동력을 절감할 수 있다는 결론을 얻을 수 있다. 일반적으로 1톤의 식용 담수를 얻기 위해 필요한 동력은 역삼투식은 9.5kWh, 다단플랏쉬(multi-stage flash)형은 16kWh, 증기 압축식은 24kWh로

알려져 있다.

운전 경비와 효율 즉 신뢰성, 정비 유지비와 운전 인력 등의 면에서도 역삼투식 조수 장치의 우수성이 나타난다. 선박용으로 제작된 역삼투식 조수장치의 경우에 있어서 일반적으로 작동후 5분 이내에 담수를 생산할 수 있다. 즉 재래식 방법과 달리 전원만 공급되면 언제라도 담수를 생산할 수 있는 것이다. 주기가 정상 속도에 오르거나 보일러가 정상 가동되어야만 담수를 생산할 수 있는 증발식 방법에 비해 역삼투식 장치의 또다른 장점이다. 그 외에 고온의 급수에서 효율이 높다는 점을 증발·응축식 방법과 비교 평가 할 수 있을 것이다.

정비 유지를 위한 비용 중 가장 큰 몫을 차지하는 것은 반투막 교체비용이다. 반투막의 교체비용은 장비에 따라 장비전체 가격의 5 ~ 15%정도로 나타나며 5년에 1회 교체한다고 가정하면 반투막 교체 비용은 전체장비 가격대비 연간 1 ~ 3%가 소요됨을 알 수 있다.

표4는 역삼투식 조수장치와 증발방식의 조수장치의 특징을 대비한 자료이다. 표에서 *표시는 증유로 환산한 값을, **표시는 급수가 열 경비를 제외한 값을 의미한다.

표4. 역삼투식 조수장치와 증발방식의 조수장치의 비교

종 류	동력소모*	설 치 비	용 적	비 고
침관법 단효식	10.0	2.0	1.0	1. 급수처리가 요구됨
폐열회수식	1.0**	1.4	1.0	1. 복잡한 배관이 요구됨. 2. 열원이 필요함.
증 발 기				
2 단 플랏쉬법	6.5	2.1	1.9	1. 대형장치에 적합. 2. 열원이 필요함.
4 단 플랏쉬법	4.9	2.3	2.1	3. 급수처리가 요구됨.
증 발 압 축 식	2.4	1.0	1.9	1. 소음이 있음. 2. 설치가 간단함.
역 삼 투 식	1.0	1.3	1.3	1. 급수처리가 요구됨. 2. 설치가 극히 간단함.
(단 렬 식)				

6. 결론과 전망

지금까지 완전한 이론적인 성립에도 불구하고 역삼투식 조수장치의 발전에 장애가 되어 왔던 반투막의 제조 기술은 근래의 수년간 눈부신 발전을 이룩하였으며, 이에 따라 장비 자체의 신뢰성과 운전 효율이 급속히 향상되었다. 또한 전처리 기술의 발전 역시 장비의 발전에 일익을 담당하였다. 이러한 발전은 당분간 지속될 전망이며 역삼투식 조수 장치의 발전을 위한 앞으로의 연구 분야는 역시 반투막의 소재개발과 제조기술 및 전처리 분야에 치중될 것이다.

이러한 기술의 발전으로 동력소모가 적고, 설치가 매우 간편하여, 설치공간이 적은 역삼투식조수장치가 양산됨에 따라 중·소형 선박을 중심으로 급속히 보급되고 있으며, 이는 선박종사자들의 선내 생활환경개선에 크게 기여하고 있다고 생각된다.

또한 역삼투현상을 이용한 용액 처리 기술의 발달로 해수의 담수화는 물론 유제품과 과즙의 농축 등 식품가공, 반도체 생산용 세척수, 약품과 화장품의 원료, 섬유산업의 염

색소와 도금 산업의 도금용 귀금속의 회수 등에 걸쳐 그 이용 범위가 확산되고 있다. 이러한 현상은 당분간 지속될 전망이며 특히 반투막 제조용 신소재의 개발과 생산 기술의 급속한 발전은 그 가능성을 한층 높여주고 있다.

참 고 문 헌

1. Sourirajan, S.(1970) : Reverse Osmosis Academic Press, N.Y.
2. Lonsdale, H.K.(1972) : Theory and Practice of Reverse Osmosis and Ultrafiltration. Wiley Interscience.
3. Parkinson, G.(1973) : Chemical Engineering. McGraw-Hill Inc., N.Y.
4. Allsanson, J.T. and R. Charnley(1983) : Drinking water from the sea ; Reverse Osmosis, the Modern Alternative. The Institute of Martine Engineers, London.
5. WHO(U.N.) Guidelines for Drinking Water Quality.

몰래하는 불법어업

아들 딸이 지켜본다