

1. 분리막을 이용한 수처리 기술의 국내 현황

한림대학교 환경시스템공학과 교수 박진용

1. 분리막에 의한 용수처리

국내의 수자원 총량은 연간 1,267억톤이나 22%인 282억톤만 사용되고 있으며, 공업용수로 약 25억톤이 사용되고 있다. 1991년 용수공급능력은 309억톤/연으로 전국적으로 약 9% 정도 공급능력이 있으나 울산공단, 서해안 개발지역 등에서는 용수공급에 상당한 어려움을 느끼고 있다.

국내의 석유화학단지에서 용수처리에 분리막(역삼투막, Reverse Osmosis membrane)을 대규모로 사용하기 시작한 것은 1988년 충남 대산지역의 극동정유에 1일 9,000톤 규모의 담수화 공정이었다. 이 지역은 간척지에 공단을 건설하여서, 공급되는 원수의 TDS (Total Dissolved Solid, 총용존고형물)가 800~1,500 mg/L로 기존의 수처리 방식인 이온교환수지법으로는 경제성이 없어 역삼투막을 사용할 수 밖에 없는 상황이었다.

2. 초순수 제조

2-1. 반도체 산업

국내의 반도체 산업의 급격한 성장으로 인한 초순수 사용량이 증가하면서, 막분리 공정의 중요성이 제기되고 있다.

고집적도 LSI제조 공정에서 초순수를 사용하는 세정공정이 약 30%를 차지하며, 6인치 웨이퍼 1매당 약 1.2톤의 초순수가 사용되는 것으로 알려져 있다. 초순수 제조 시스템은 전처리장치, 1차 순수장치 및 부속 시스템(Sub-system)으로 구성된다. 전처리장치는 응집침전, 활성탄 여과장치, 흡착장치 등으로 이루어져 있으며, 원수 중의 현탁물질 및 유기물을 주로 제거하는데 사용된다.

1차 순수장치는 이온교환장치와 역삼투막 등으로 구성되어 무기이온성분 및 전처리로 제거하지 못한 잔존 유기물 등을 처리한다. 부속 시스템은 미량의 잔존 이온성분을 제거하는 이온교환수지용 카트리지 마광기(polisher)와 자외선 살균기, 한외여과막 등으로 이루어져 있다.

고집적도 LSI제조 공정에서 발생하는 불량률의 대부분은 세정공정에서 사용

하는 초순수 중의 불순물이 웨이퍼 표면에 부착되는 것에 기인하고 있다. 웨이퍼 표면에 형성되는 1 M, 4 M, 16 MDram 형태의 최소 가공선폭은 각각 1, 0.8, 0.5 μm 정도로 초순수 중에 허용되는 미립자의 최대 크기는 가공선폭의 1/10이하 정도가 허용되고 있다.

국내의 반도체 제조공정에서 사용되는 순수처리량은 40,000 톤/일 이상으로 추정되고 있으며, 주로 일본의 수처리업체로부터 제조설비를 도입하여 사용하고 있는데 Nomura Microscience, Organo, Kurita 공업 등이 주요업체이다. 반도체 업체에서는 역삼투막과 한외여과막을 필수적으로 사용하고 있으며, 설비를 일본에서 들여온 관계로 Toray, Nitto, Asahi Kasei, Kuraray 회사 등의 분리막을 주로 사용하고 있다. 최근에는 초순수 제조설비의 국산화가 이루어져 설치되고 있으며, 국산 한외여과(UF) 막도 사용 중에 있다. 대표적인 초순수 제조 공정도는 그림 1에 보는 바와 같다.

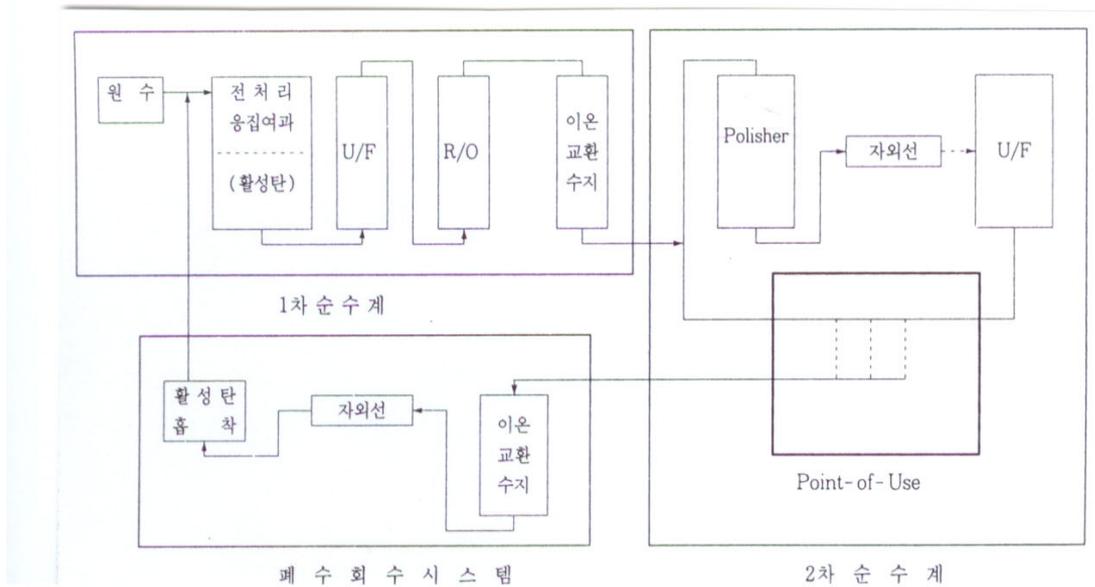


그림 1. 초순수 제조 공정도

2-2. 제약 조제수

의약품의 제조 분야에 있어서 비경구용 의약물을 제조하는 경우에는 지금까지 Pyrogen의 제거는 매우 곤란한 문제로 남아 있었으나, 막분리 기술이 도입됨에 따라 물 속의 Pyrogen은 물론, 주사제 원료물질의 Pyrogen 제거 까지도 가능하게 되었다.

미국, 일본 등지에서는 이미 막분리 기술이 주사제의 제조방법으로 인정되

고 있었으며, 국내에서도 1992년 개정된 약전에서는 막분리법을 활용한 주사제의 제조방법을 인정하고 있으며, 이로 말미암아 국내 제약업계에서는 보다 안정성이 우수하고 신뢰성이 높은 제품생산과 원가절감이라는 일거양득의 효과를 보게 되었다.

한외여과막이나 역삼투막을 이용하여 Pyrogen을 제거하는 기술은 이미 많은 연구자들에 의해 충분한 실험을 통해 입증되었으며, 분리막 시스템의 설계와 운전기술 역시 크게 발전하여 상용화되어 있다.

Pyrogen은 일반적으로 세균의 세포벽이 분해 되어 발생하며 Pyrogen의 원인물질은 주로 분자량 수만~수십만의 LPS(Lipopoly Saccharide)이다. Pyrogen의 형상은 길이 약 0.1 μm 의 직쇄상으로 되어 있다.

3. 산업폐수처리 및 재활용

막분리 공정을 이용한 폐수처리 및 재활용 연구는 분리막의 개발과정에서 부터 계속되었다. 특히 일본에서는 지난 20년간 분리막을 이용한 폐수처리 및 재활용에 관한 연구가 국가 중요정책과제인 Aqua renaissance 90 과제와 MAC 21, New MAC 21 과제로 광범위하게 진행되고 있다.

분리막은 폐수를 적은 에너지를 이용하여 선별적으로 분리할 수 있으나 막의 성능을 저하시키는 막오염(Membrane fouling)이 막분리 공정의 보급을 늦추고 있는 실정이다. 막오염 현상은 폐수에 함유된 부유물질이나 분리막 표면에 쉽게 흡착되는 성질을 가진 물질들이 막표면과 기공(pore)에 축적되어 유체의 흐름을 방해하여 투과율을 감소시킨다.

3.1 중수도

수자원의 고갈로 인해 수돗물을 절약하고 재활용하는 차원에서 중수도법이 도입되면서, 분리막을 이용한 하수 및 오수처리 방법이 주목을 받고 있다. 중수도 공급방식은 이용범위와 처리방법에 따라 개별순환방식, 지역순환방식 또는 광역순환방식으로 구분될 수 있다.

미국이나 일본에서 사용되는 막분리 공정은 주로 개별순환방식에 적용되었다. 미국 Thetford System Inc.의 Cycle-Let 공정(그림 2)은 1979년부터 개별순환방식으로 중수도를 처리하여 재사용하는 방법으로 사용되고 있다. 처리수의 수질은 $\text{BOD} \leq 5 \text{ mg/L}$, $\text{SS} \leq 5 \text{ mg/L}$, 총대장균 $\leq 2/100 \text{ mL}$ 이다. 발생하는 미생물 슬러지는 1년에 한번 반응조에서 제거하면 된다. Cycle-Let 공정의 핵심기술은 관형 한외여과막을 이용하여 포기조의 미생물

을 분리하여 포기조의 MLSS 농도를 높여 주고 미세물질과 세균 등이 처리수에 유입되는 것을 방지하는 것이다.

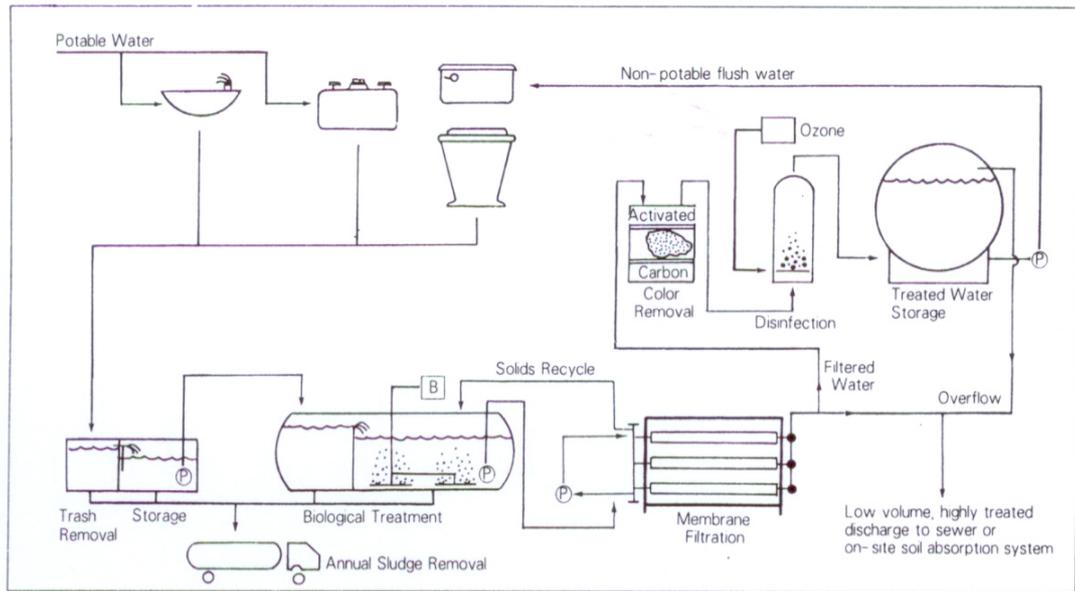


그림 2. 개별순환방식 Cycle-Let 중수도 공정도

일본에서 대형 사무실 빌딩의 중수도 처리에 평판형 한외여과막을 이용하는 공정이 주로 사용되고 있다. 빌딩 내에서 발생되는 오수를 분리막 공정을 도입한 생물학적 방법(UBIS)으로 처리하여 화장실 용수로 재사용한다.

국내에서는 LG엔지니어링이 일본으로부터 UBIS 공정을 도입하였고, POSCO 빌딩에 한외여과 공정이 도입되어 운전되고 있다.

3.2 하수처리

국내에도 일본 미쯔비시 레이온 사 및 캐나다 Zenon 사의 중공사형 분리막을 수입하여, 대한통운 및 (주)태영 등 국내 업체들이 최근 경쟁적으로 하수처리용 분리막 공정을 설치하여 운전하고 있다. 주로 리조트와 같은 중소형 하수처리장에 사용되고 있는 실정이다. 한국분리막 및 코레드, 케미코아, 필로스 등 많은 국내 분리막 제조 업체들도 이러한 중소형 하수처리장 뿐만 아니라, 하수종말처리장의 고도처리를 겨냥하여 외국산 분리막에 필적한 만한 국산 분리막을 개발하여 놓은 상태이다.

4. 정수처리

최근 서울시 구의정수장에서 5개 업체가 Pilot 규모의 정수용 분리막 공정을 설치하고, 동일한 조건에서 비교 시험 가동을 하고 있다. 이러한 과정을 통하여 경제적이고 효율이 우수한 정수용 분리막 공정이 선발 될 것이다. 하지만, 이 5개 업체 모두가 외국산 분리막을 수입하여 설치하였다는 것이다. 이러한 상황에서 2004년말 환경부 지원으로 수처리선진화사업단이 발족되어, 정수용 분리막 및 모듈 개발 과제 2개와 정수용 분리막 공정 개발 과제가 활발히 수행되고 있다. 이러한 과제들이 성공적으로 진행된다면, 국산 분리막을 사용한 정수용 분리막 공정이 실용화될 것으로 보인다.